

SÉRIE A, N° 1627

N° D'ORDRE :

2493

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Hubert GARRIGUE

1^{re} THÈSE. — RADIOACTIVITÉ DE L'AIR EN MONTAGNE.

2^e THÈSE — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 72 JUN 1936 devant la Commission d'examen.

MM. FABRY *Président.*

MAURAIN..... } *Examineurs*
JOLIOT }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1936

SÉRIE A, N° 1627

N° D'ORDRE :

2493

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Hubert GARRIGUE

1^{re} THÈSE. — RADIOACTIVITÉ DE L'AIR EN MONTAGNE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le Mai 1936 devant la Commission d'examen.

MM. FABRY *Président.*

MAURAIN..... } *Examineurs.*
JOLIOT }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

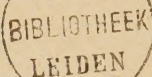
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1936

MM.

Doyen honoraire M. MOLLIARD.
Doyen..... C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du Globe.

Professeurs honoraires



H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.
A. LEDUC.
Émile PICARD.
Remy PERRIER.

Léon BRILLQUIN.
GOURSAT.
WALLERANT.
GUILLET.
PÉCHARD.
FREUNDLER.

AUGER.
BLAISE.
DANGEARD.
JANET.
LESPIEAU.
MARCHIS.
VESSIOT.

PROFESSEURS

G. BERTRAND.....	T Chimie biologique.	M. JAVILLIER.....	Chimie biologique.
M. CAULLERY.....	T Zoologie (Évolution des êtres organisés).	L. JOLEAUD.....	Paléontologie.
G. URBAIN.....	T Chimie générale.	ROBERT-LÉVY.....	Zoologie.
Émile BOREL.....	T Calcul des probabilités et Physique mathématique	F. PICARD.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
Jean PERRIN.....	T Chimie physique.	Henri VILLAT.....	T Mécanique des fluides et applications.
H. ABRAHAM.....	T Physique.	Ch. JACOB.....	T Géologie.
E. CARTAN.....	T Géométrie supérieure.	P. PASCAL.....	T Chimie minérale.
M. MOLLIARD.....	T Physiologie végétale.	M. FRÉCHET.....	T Calcul différentiel et Calcul intégral.
L. LAPICQUE.....	T Physiologie générale.	E. ESCLANGON.....	T Astronomie.
A. COTTON.....	T Recherches physiques.	M ^{me} RAMART-LUCAS	T Chimie organique.
J. DRACH.....	T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	H. BEGHIN.....	T Mécanique physique et expérimentale.
Charles FABRY.....	T Enseignement de Physique.	FOCH.....	Mécanique expérimentale des fluides.
Charles PÉREZ.....	T Zoologie.	PAUTHENIER.....	Physique (P. C. B.).
Léon BERTRAND ..	T Géologie structurale et géologie appliquée.	De BROGLIE.....	T Théories physiques.
P. PORTIER.....	T Physiologie comparée.	CHRÉTIEN.....	Optique appliquée.
E. RABAUD.....	T Biologie expérimentale.	P. JOB.....	Chimie générale.
M. GUICHARD.....	Chimie minérale.	LABROUSTE.....	Physique du Globe.
Paul MONTEL.....	T Théorie des fonctions et Théorie des transformations.	PRENANT.....	Zoologie.
P. WINTREBERT ..	T Anatomie et histologie comparées.	VILLEY.....	Mécanique physique et expérimentale.
L. BLARINGHEM ..	T Botanique.	BOHN.....	Zoologie (P. C. B.).
O. DUBOSQ.....	T Biologie maritime.	COMBES.....	Botanique (P. C. B.).
G. JULIA.....	T Mécanique analytique et Mécanique céleste.	GARNIER.....	T Mathématiques générales.
C. MAUGUIN.....	T Minéralogie.	PÈRES.....	Mécanique des fluides.
A. MICHEL-LÉVY.	T Pétrographie.	HACKSPILL.....	Chimie (P. C. B.).
H. BÉNARD.....	T Mécanique expérimentale des fluides.	LAUGIER.....	Physiologie générale.
A. DENJOY.....	T Application de l'analyse à la Géométrie.	TOUSSAINT.....	Technique Aéronautique.
L. LUTAUD.....	T Géographie physique et géologie dynamique.	M. CURIE.....	Physique (P. C. B.).
Eugène BLOCH....	T Physique théorique et physique céleste.	G. RIBAUD.....	T Hautes températures.
G. BRUHAT.....	Physique.	CHAZY.....	T Mécanique rationnelle.
E. DARMOIS.....	Enseignement de Physique.	GAULT.....	Chimie (P. C. B.).
A. DEBIERNE.....	T Physique Générale et Radioactivité.	CROZE.....	Recherches physiques.
A. DUFOUR.....	T Physique, (P. C. B.).	DUPONT.....	T Théories chimiques.
L. DUNOYER.....	Optique appliquée.	LANQUINE.....	Géologie.
A. GUILLIERMOND.	T Botanique.	VALIRON.....	Mathématiques générales.
		BARRABÉ.....	Géologie structurale et géologie appliquée.
		MILLOT.....	Zoologie (P. C. B.).
		F. PERRIN.....	Théories physiques.
		VAVON.....	Chimie organique.

Secrétaire..... A. PACAUD.
Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK.

Ce travail est dédié à la mémoire du

Professeur PIERRE GARRIGUE

*Le souvenir de son amitié tour à tour
affectueuse et sévère, de sa haute cons-
cience de père et de professeur, de sa
force d'âme devant l'adversité a été et
reste pour moi le guide sûr dans l'iso-
lement complet de ma vie de montagnard.*

HUBERT GARRIGUE,

Pic du Midi, Mars 1936.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LA RADIOACTIVITÉ DE L'AIR EN MONTAGNE

Par HUBERT GARRIGUE

INTRODUCTION

1. — J'ai publié dans le *Journal de Physique* (1) une étude sur les conductibilités anormales en courant continu de liquides purs. La plupart des mesures ont été effectuées au Laboratoire d'électricité de la Faculté des Sciences de Montpellier, mais les mesures électrométriques sur la conductibilité du benzène ont été continuées à l'Observatoire du Pic du Midi, altitude 2860 m., au début de l'hiver 1931.

Or j'ai trouvé dans toutes les expériences, une fuite considérable à l'intérieur du boîtier de l'électromètre utilisé.

J'ai d'abord cru qu'il s'agissait d'une défectuosité d'isolement. Mais les soins apportés aux différents montages m'ont fait penser que les fuites provenaient d'une production continue, dans le boîtier de l'électromètre, d'une assez forte quantité d'ions des deux signes.

C'est pour trouver l'explication exacte de ce phénomène que j'ai entrepris les travaux dont on trouvera ici une description résumée.

2. — L'accueil que j'ai reçu à l'Observatoire du Pic du Midi m'a permis de mener à bien une tâche difficile : l'installation complète d'un laboratoire de radioactivité, sans lequel aucune mesure n'était possible.

Les ressources sont venues de la Caisse des Recherches Scientifiques, de la Caisse Nationale des Sciences.

Les conseils bienveillants et éclairés de MM. Ch. Maurain, Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris, Ed. Salles, P. Auger, Hollweck, m'ont aidé et encouragé dans les recherches au Laboratoire et en montagne, recherches qui sont, pour une station de l'altitude du Pic du Midi, une suite ininterrompue de luttres contre les éléments. Que tous veuillent trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

3. Sommaire. — Les fuites de l'électromètre (1) avaient leur origine dans l'ionisation spontanée de l'air contenu dans le boîtier de l'électromètre.

J'ai mis en évidence que cette ionisation spontanée, lorsque l'air était enfermé en vase clos, avait une période propre de décroissance voisine de 3,85 jours; que la radiation globale pénétrante, mesurée au laboratoire était plus forte à l'époque des neiges, en même temps que l'atmosphère de l'habitation de l'Observatoire du Pic du Midi devenait très riche en radon.

D'où provenait ce radon? Des fissures du sol de la montagne, et la neige, en forte épaisseur d'octobre à juin, jouait le rôle d'écran semi-imperméable canalisant le radon à l'intérieur de l'Observatoire qui est entièrement enseveli sous la neige en hiver.

Suivant quelles lois apparaissait ou disparaissait ce radon? Lorsque le vent souffle sur la face abrupte et déneigée de la montagne, la pression aérodynamique oblige l'air des fissures à filtrer vers les faces enneigées. C'est alors qu'on trouve entre la couche de neige et le sol, l'air le plus actif, le plus chargé en radon.

Sous l'influence de la dépression causée par le vent sur la face opposée à la direction d'où il souffle, ce radon se dégage lentement en traversant la neige poreuse, et l'air libre, au voisinage du sol, est alors plus actif que l'air normal.

Ce phénomène était-il particulier au Pic du Midi? Non. Quelques mesures, malheureusement très restreintes, ont montré l'existence de fortes teneurs en radon sous la neige aux Pics Costallat (Pyrénées centrales), Canigou, Puig Barbet (Pyrénées orientales).

4. L'Observatoire du Pic du Midi. — Avant d'entreprendre l'exposé de mes travaux, voici quelles sont, dans leurs gran-

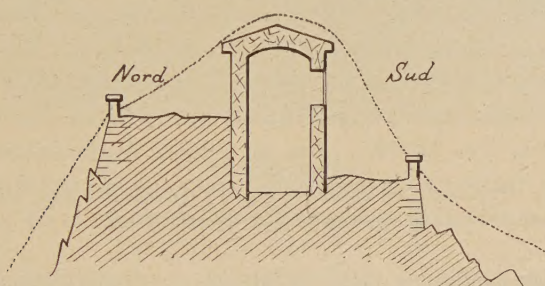


Fig. 1. — Coupe de l'habitation du Pic du Midi. En pointillés, surface d'enneigement.

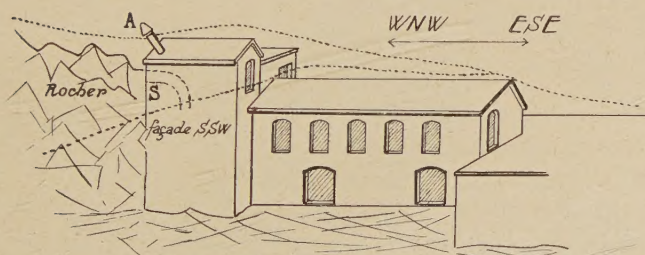


Fig. 2. — Croquis de l'habitation du Pic du Midi. En pointillés, surface d'enneigement.

des lignes, les conditions à l'Observatoire, où toutes les recherches de laboratoire ont été faites.

Le bâtiment central d'habitation, de 20 m. de long, est

construit sur la crête ESE du Pic proprement dit, à 17 m. au-dessous du point culminant (photographie 1). Orienté à peu près comme la crête sur laquelle il a été bâti, il possède une façade Sud entièrement dégagée, alors que la moitié inférieure du côté Nord de la construction est adossée au rocher (figure 1).

A l'extrémité WNW de l'habitation, se trouvent des dépendances parmi lesquelles le laboratoire d'électricité, de niveau avec le toit du bâtiment central (figure 2).

Les façades SSW et ESE du laboratoire sont dégagées, alors que le côté WNW est en partie adossé au rocher.

Sur la face SSW du toit est prévue une cheminée de prise d'air à obturateur A (figure 2).

Sur le côté WNW, juste au niveau d'affleurement du rocher, un trou S est percé dans le mur, permettant d'aspirer l'air dans le voisinage immédiat de la surface.

5. Les conditions météorologiques. — Généralement vers la fin octobre, la neige commence à tomber, et l'épaisseur accumulée sur les terrasses atteint, vers le mois de décembre 1 à 3 m. (photographie 1).

TABLEAU I

Année	Epoque du maximum d'enneigement	Hauteur max. de neige
1927	<i>Mars, Avril</i>	4,70 m.
1928	Mars, <i>Avril</i>	5,10 m.
1929	<i>Février</i>	3,95 m.
1930	<i>Avril, Mai</i>	5,40 m.
1931	<i>Février, Mars, Avril, Mai</i>	5,60 m.
1932	<i>Avril, Mai</i>	3,90 m.
1933	<i>Février, Mars, Avril, Mai</i>	3,65 m.
1934	<i>Mars, Avril</i>	3,60 m.
1935	Janvier, <i>Février, Mars, Avril, Mai, juin</i>	4,00 m.

Le mois est en italique lorsqu'il y a maximum d'enneigement; en caractères droits lorsque l'enneigement est très voisin du maximum.



Photographie I.

Le double repère situe le Pic proprement dit, qui est à 17 mètres au-dessus des terrasses. Celles-ci sont couvertes de plus de 4 mètres de neige.



Photographie II.

Après la tourmente à température élevée :
tout est recouvert de givre verglassé.

Le maximum d'enneigement, qui dépend de deux facteurs : vent, précipitation, est très variable d'une année à l'autre. Il se place vers le mois d'avril (tableau I). Les neiges subsistent jusqu'aux premiers jours de juillet, quelquefois plus tard.

Les chutes de neige plus fréquentes et plus abondantes au printemps peuvent avoir lieu avec ou sans vent. Dans le premier cas, la neige s'amoncelle et se tasse suivant des formes aérodynamiques, dans le second, elle s'accroche sur toutes les surfaces, formant une couche très légère et très perméable à l'air et qui s'envole au moindre souffle.

En hiver la température descend à -20° , -30° C., mais il y a des chutes de neige par température beaucoup plus élevée, voisine de zéro, provoquant la formation abondante de verglas et de glace vive (photographie II).

6. Evolution des tourmentes de neige. — Elle suit, en général un processus régulier :

a) Vents de S à W. [Le baromètre descend.

b) Vents d'W à NW, le baromètre stationne [ou remonte.

La tourmente peut alors acquérir une extrême violence : la neige pulvérulente pénètre par toutes les fissures, pouvant donner à l'intérieur de l'habitation des amoncellements de plusieurs mètres.

Dehors, la proportion de neige volante est telle qu'il faut craindre l'asphyxie. Les rafales de vent emportent tout sur leur passage, et peuvent créer, dans l'habitation, des dépressions instantanées de plusieurs millimètres de mercure.

Des tranchées de plusieurs mètres creusées dans la neige devant les fenêtres de l'habitation peuvent être comblées en une heure.

c) Vents de N. à E, faibles, moyens ou violents. La tourmente s'apaise, le ciel s'épure. Abaissement de la température.

Il n'est pas rare de voir des tourmentes durer une dizaine de jours.

Il y a quelquefois, en été, de petites tempêtes, accompagnées de chutes de neige. Elles sont de courte durée, à caractère plus orageux; la neige est mêlée de grésil et quelquefois de grêle.

La couche accumulée sur le sol, de quelque 10 centimètres d'épaisseur, fond rapidement sous l'influence de la chaleur du sol et du rayonnement solaire.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

Préliminaires.

7. — Le phénomène que j'étudie dans ce travail n'a jamais été découvert, à ma connaissance, par aucun expérimentateur avant moi. Il n'est cependant pas inutile de donner un aperçu des résultats obtenus jusqu'ici au sujet du radon naturel, parce qu'ils suffisent largement à prévoir le phénomène de l'accumulation de ce gaz sous la neige, et qu'en tous cas, ils le corroborent (conclusion II).

Il y a fort longtemps qu'on a mis en évidence la conductibilité propre de l'air. Des expériences plus récentes ont attribué à cette conductibilité un caractère ionique (2). Peu de temps après, de 1900 à 1908, un très grand nombre d'expérimentateurs étudièrent les émanations radioactives présentes dans l'atmosphère, causes partielles de l'ionisation de l'air.

L'activité de l'air des grottes, de l'air à haute altitude, mesurée en ballon (3), de l'air au sommet des montagnes (4), contribuèrent à faire admettre définitivement que toutes les émanations radioactives présentes dans l'atmosphère, provenaient des fissures du sol.

Parallèlement on avait étudié l'activité des roches, des eaux de sources (5).

8. — Les gaz qui se dégagent naturellement du sol contiennent toujours une assez forte proportion de radon. Ceux

qui sont entraînés par les sources, à l'émergence, sont particulièrement radioactifs. Leur teneur en radon peut varier de quelques dixièmes à plusieurs dizaines de millimicrocuries par litre.

Il y a donc production continue à l'intérieur du sol de gaz radioactifs, à partir du radium et des radioéléments contenus dans les roches de la croûte terrestre.

Plusieurs auteurs ont utilisé des dispositifs variés, avec lesquels ils étudiaient l'activité des gaz dégagés du sol. Récemment, V. P. Réginald Zupancic (6) a analysé le dégagement naturel du radon du sol, mais sa méthode laisse à désirer, puisqu'on ne peut pas déterminer la teneur, mais seulement la vitesse de dégagement du radon par unité de surface.

Voici un résumé de sa méthode et les résultats obtenus :

Un vase cylindrique sans fond recouvre un sol gazonné. Après 24 heures, l'air de ce vase est brassé puis introduit dans un appareil de mesure, afin de déterminer la quantité totale de radon qu'il contient, quantité d'où sera déduite la vitesse de dégagement.

Il a été trouvé, sur une année de mesures, un dégagement moyen égal à :

$$23,10^{-15} \text{ curie par cm}^2 \text{ et par seconde.}$$

Le maximum de dégagement, 100 fois plus élevé que le minimum, a lieu en été.

Ici, la température du sol a une action très marquée sur la vitesse de dégagement.

Mais cette méthode a-t-elle une réelle signification ? Les résultats obtenus signifient-ils que la teneur en radon de l'air inclus dans le sol est égale à la teneur du récipient après 24 heures d'équilibre ?

On pourra d'ailleurs comparer ces résultats à ceux qui ont été obtenus au Pic du Midi (59) (conclusion II c.).

Cette méthode est inapplicable dans mon cas parce que les dépressions rapides, si fréquentes en montagne (6. b) suffi-

raient à provoquer un lavage de l'air du récipient de réception. J'ai préféré une méthode plus directe, moins sensible, peut-être d'une précision absolue moins grande, mais d'une réelle signification.

9. — Les mesures de Roy (7) ont attribué à la teneur moyenne en radon de l'air à Paris, la valeur :

$$1,18.10^{-13} \text{ curie par litre.}$$

D'autres mesures ont montré que l'air très actif au voisinage du sol (8) devenait de moins en moins riche en radon, lorsqu'on s'élevait dans l'atmosphère libre (9).

La radioactivité de l'air au Spitzberg (10) est le dixième seulement de la valeur trouvée pour l'air libre à Paris. Des mesures faites par Maughly (11) ont donné une répartition de la teneur en radon sur les mers et les océans. La valeur minima a été trouvée sur la mer du Nord. Elle est de :

$$0,3.10^{-15} \text{ curie par litre.}$$

De plus lorsque les vents soufflaient de la côte, ils apportaient une augmentation d'activité.

Les mesures de Deodhar (12) faites dans les Indes ont donné des résultats remarquables : la teneur en radon est maxima pendant le mois le plus froid et lorsque les vents soufflent de l'Himalaya.

L'ensemble de ces résultats permet de donner une analyse grossière de la teneur en radon de l'air atmosphérique :

TABLEAU II

	Au sol, régions tempérées	Au sol, régions polaires	Au sol, vent soufflant de massif montagneux
Teneur en curie par litre	10^{-13} (teneur normale)	10^{-14} à 10^{-15}	Supérieure à 10^{-13}

Il est donc permis de penser que la faible teneur observée dans les régions polaires provient de l'imperméabilité relative du sol.

De plus, lorsque dans une région le vent souffle en provenance de massifs montagneux enneigés (Himalaya) l'activité de l'air subit une augmentation : le vent apporte le radon accumulé dans la montagne sous la couche de neige.

On verra, dans les expériences faites au Pic du Midi, que l'on retrouve ce phénomène de façon beaucoup plus frappante.

En résumé, il semble bien, d'après ce que je viens d'exposer, que la couche de neige ou de glace favorise dans le sous-sol l'accumulation du radon.

C'est précisément ce phénomène que j'ai trouvé au Pic du Midi (3).

CHAPITRE II

Considérations générales.

10. — Afin d'éviter au lecteur une description trop touffue des diverses expériences exposées dans les chapitres qui suivent, j'ai réuni ici, sous la forme la plus concise, toutes les considérations relatives aux précautions à prendre lorsqu'il s'agit d'imaginer, de mettre au point, et d'utiliser des appareils très délicats pour la mesure d'ionisations très faibles en vase clos.

Toutes les fois que cela est possible, il faut enregistrer ce que l'on étudie. On élimine ainsi les erreurs de « statistique », car les mesures portent évidemment sur une plus grande étendue.

On sait qu'une particule α émise par le radon donne dans l'air, aux conditions normales, plusieurs dizaines de milliers de paires d'ions. Les erreurs de statistique sur des mesures de faible teneur en radon de courte durée seront donc considérables et ne pourront s'éliminer qu'en prenant la moyenne d'un grand nombre de mesures.

Les fuites d'isolant doivent être particulièrement surveillées : j'ai employé très souvent l'ambre véritable, quelquefois le quartz fondu, mais celui-ci est très sensible à l'humidité.

11. — Lors de la construction d'un électroscope très sensible, plusieurs précautions sont à prendre pour réaliser un bon isolement.

a) La forme et le volume de la pièce isolante seront choisis de façon à réduire les fuites. La fuite la plus importante,

la plus difficile à éliminer, est due à la pénétration des charges. On la diminue en réduisant le volume de la pièce, et en enrobant celle-ci dans un cylindre de garde aussi serré que possible.

La distance entre les parois de ce cylindre et la surface de la pièce devra être de quelques dixièmes de millimètre seulement. Mais alors les précautions ne seront jamais trop grandes pour empêcher le pont accidentel, par une barbule de coton ou de laine, entre le cylindre et l'isolant.

b) Viennent ensuite les fuites de surface, beaucoup moins importantes si celle-ci est soigneusement polie, et qui peuvent être annulées par l'artifice du tube de garde : la pièce isolante qui supporte tout l'équipage électrométrique, est supportée elle-même par un collier ou un tube métalliques (G figure 3) dont le potentiel est réglé à la valeur moyenne de celui de l'équipage isolé.

Le quartz fondu a une surface qu'il n'y a pas lieu de retoucher. On devra préparer la pièce au chalumeau au moment du montage, et éviter un contact accidentel entre la surface du quartz et un objet étranger.

L'ambre véritable se travaille au tour avec un outil à coupe très fine. Son polissage est une opération délicate. On peut le commencer à un émeri de quelques millièmes de millimètre, le continuer à la potée d'étain, le kiéselguhr.

Lorsque le polissage est très avancé, il est bon d'examiner la surface de l'ambre au microscope. Elle ne doit présenter aucune strie qui suffirait à provoquer des fuites à cause des impuretés qu'elle retient.

La finition se fait à la farine, la poudre de riz. La pièce est alors lavée à l'alcool absolu, mais jamais à l'éther qui altère l'ambre. On l'essuie à la gaze hydrophile pharmaceutique, et son montage doit s'effectuer, comme toutes les pièces intérieures à l'électroscope, sans aucun contact avec les doigts, au moyen de pinces brucelles dont les extrémités ont été polies et lavées à l'éther.

Lorsque le montage est terminé, on observe la surface de l'isolant au moyen d'un éclairage latéral très vif. La moindre barbule, mise en évidence par diffraction peut être ainsi extraite à la pince.

Cette façon de procéder, sur laquelle je ne reviendrai pas, m'a permis d'obtenir des appareils où les fuites d'isolant sont, dans les conditions d'emploi, bien inférieures au centième du courant dû à l'ionisation résiduelle à l'intérieur du vase sur lequel l'appareil est utilisé (IX, 55).

12. — Malgré tout les fuites n'étant pas supprimées, il est bon, lorsqu'on veut faire des mesures de très grande précision, d'apporter la correction nécessaire. Il est encore préférable que cette correction soit apportée automatiquement au cours de la mesure, comme c'est le cas dans un de mes appareils pour la radiation faiblement pénétrante. On trouvera ci-après le calcul du « potentiel de correction ».

Toutes les fois qu'on le peut on emploiera une méthode de compensation, où l'électroscope ou l'électromètre de mesure n'est plus qu'un appareil de zéro. Ainsi se trouvent supprimées toutes les erreurs mécaniques, optiques et électriques.

Calcul du « potentiel de correction ». — Soit I_0 l'intensité à mesurer avec un montage électrométrique à vitesse de déviation, U le « potentiel de correction » du tube de garde G ajusté de telle sorte que la mesure de vitesse de déviation sur une élongation donnée L de l'équipage mobile A de l'électromètre ne soit aucunement affectée par la fuite d'isolant (fig. 3).

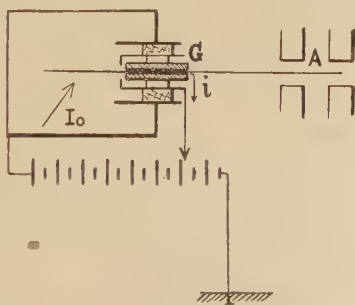


Fig. 3. — Dispositif de correction des fuites de surface d'isolant.

J'appelle V le potentiel de A pour l'élongation L atteinte

au bout du temps T , ce potentiel étant zéro pour l'élongation nulle; v le potentiel de A à l'instant t ; i l'intensité du courant de fuite, assimilé à une dérivation sur la résistance R de l'isolant; dq la quantité élémentaire d'électricité reçue par A à l'instant t :

On a :

$$dq = (I_0 - i)dt \quad (1)$$

avec :

$$i = \frac{v - U}{R} \quad (2)$$

L'expérience permet de déterminer le rapport :

$$\frac{I_0}{I} = f$$

I étant le courant de fuite lorsque $U = 0$ et $v = V$.

On a :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{I_0}{f}.$$

La relation (2) devient :

$$i = \frac{v - U}{\frac{V \cdot f}{I_0}}$$

La relation (1) :

$$dq = \left(I_0 - \frac{v - U}{\frac{V \cdot f}{I_0}} \right) dt.$$

D'où l'on tire :

$$Vf \int_0^T \frac{dv}{(Vf + U) - v} = \int_0^T \frac{I_0 dt}{C}$$

C représentant la capacité de l'équipage A dans les conditions d'emploi. L'intégrale du second membre doit précisément avoir pour valeur V :

$$f \int_0^T \frac{dv}{(Vf + U) - v} = 1, \quad U = V \left(\frac{\sqrt[e]{f}}{\sqrt[e]{f} - 1} \right) - f.$$

C'est cette dernière relation qui permet d'évaluer « le potentiel de correction » du tube de garde G.

Remarquons qu'on peut développer en série :

$$\sqrt{f}e = 1 - \frac{1}{f} + \frac{1}{2!} \cdot \frac{1}{f^2} \cdot$$

D'où l'on déduit que U tend vers 0,5 V lorsque f devient très grand.

13. — Les sources de courant utilisées pour les mesures électrométriques sont de deux sortes :

a) Les piles sèches. Aucune particularité n'est à signaler à ce sujet. Les batteries sèches de très faible capacité du commerce sont plus que suffisantes ; leur tension à circuit ouvert reste constante, sans précaution pour stabiliser leur température, à plus de $\frac{1}{20\ 000}$ près pendant le temps que peuvent durer les mesures. En leur faisant débiter quelques dizaines de microampères pour 30 cm² de surface d'électrode négative, leur stabilité est encore très satisfaisante. Voir à ce sujet (13) page 436.

Les piles sèches de surface d'électrode supérieure à 50 cm² associées à un galvanomètre pivoté donnant toute la déviation pour 100 microampères, et à une résistance au « constantan » constituent un excellent étalon secondaire de potentiel.

b) Les accumulateurs. Les éléments au plomb bien isolés et soigneusement entretenus, donnent toute satisfaction. Le laboratoire du Pic du Midi a été pourvu d'un meuble de 800 volts, avec tableau de groupage série parallèle par batteries de 80 volts (Photographie III).

14. — Malgré tous les soins que l'on puisse apporter au montage et à l'utilisation des appareils à ionisation, il est bon d'incriminer, *a priori*, la qualité du matériel, si celui-ci donne des résultats anormaux. C'est ainsi qu'au début de

mes expériences, j'ai mis les fuites de mes électroscopes sur le compte d'une déféctuosité d'isolement. Plus tard j'ai cru qu'un expérimentateur avait, bien avant mes travaux, cassé accidentellement dans l'Observatoire, une capsule de radium.

Lorsqu'on trouve une activité anormale de l'air en un lieu quelconque, il faut étudier la période de cette activité, puis opérer avec divers appareils et se mettre à la recherche de la cause du phénomène.

15. — Pour terminer cet ensemble de considérations générales, je signalerai que l'utilisation de sel radioactif étalon est très dangereuse dans un laboratoire où l'on se propose d'effectuer des mesures de précision.

La propreté la plus rigoureuse doit être scrupuleusement observée. Une parcelle de sel actif peut être transportée sur un appareil ou répandue sur le sol du laboratoire. Il s'en suivra une production continue de radon, dont l'activité faussera toutes les mesures. Lorsque l'accident est arrivé, il n'y a qu'un remède : jeter au loin l'appareil ou fermer le laboratoire.

Un accident de ce genre s'est produit au Pic du Midi : un barboteur à solution radifère a été brisé par mégarde ; j'ai dû condamner définitivement l'armoire où s'est répandu la solution, avec tout son contenu.

De toutes façons il est bon de signaler le fait sur les registres du bord, afin que, plus tard un expérimentateur ne découvre pas un phénomène inexplicable.

CHAPITRE III

Mesure de l'ionisation en vase clos.

16. Méthode de mesures. — Un récipient métallique étanche, que l'on peut remplir du gaz dont on désire étudier l'ionisation spontanée, porte en son centre une tige métallique isolée, reliée, à l'extérieur de ce récipient, à l'aiguille d'un électromètre de Lindemann. Le récipient est porté à un potentiel élevé par rapport à la tige métallique, de telle sorte que la saturation soit à peu près atteinte (38).

On mesure alors soit par la méthode de vitesse de déviation, soit par une méthode de compensation, le courant qui circule entre le récipient et la tige métallique centrale, d'où l'on déduit la valeur de l'ionisation du gaz contenu dans le récipient.

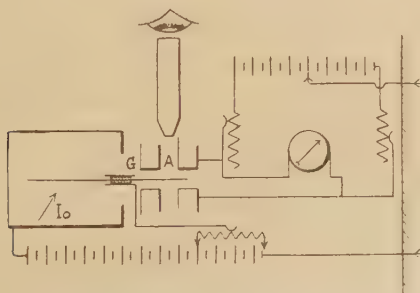


Fig. 4. — Dispositif pour la mesure de l'ionisation en vase clos.

17. Détails de l'appareil. — Bien que les détails du dispositif aient été donnés précédemment (13), je répéterai ici les plus importants (figure 4).

a) Récipient d'ionisation parallépipédique en zinc commercial de 2 mm. 5 d'épaisseur, volume 6,83 litres. Pression ambiante (540 mm.).

b) Electromètre de Lindemann dont les cadrans sont portés à des potentiels opposés, ajustés par un dispositif potentiométrique de telle sorte que sa sensibilité ait la valeur désirée, et que la déviation de l'aiguille soit nulle lorsque son potentiel est zéro.

c) Tige centrale constituée par un gros fil de laiton très

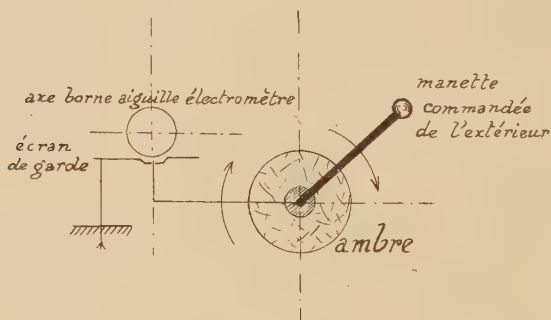


Fig. 5. — Dispositif de mise à la masse de l'équipage électrométrique.

soigneusement poli, monté dans un canon de quartz fondu, lui-même serti dans un tube de garde G (12) (figure 3) isolé du récipient.

d) Batteries de piles sèches (13) réunies dans une boîte séparée avec le galvanomètre Unipivot ⁽¹⁾ monté en voltmètre, et les dispositifs potentiométriques.

e) Dispositif permettant de relier l'aiguille de l'électromètre à une prise extérieure isolée à l'ambre : cette prise peut être reliée elle-même soit à la masse, soit, pour l'étalonnage ou la correction, à une tension connue ou à mesurer (18) (figure 5).

⁽¹⁾ CAMBRIDGE, Constructeur.

18. Méthode de vitesse de déviation. — Cette méthode est assez compliquée si l'on désire lui conserver une bonne précision ⁽¹⁾.

La sensibilité de l'électromètre est réglée à :

$$V = \text{élongation } 100^{\text{divisions}} = 1,74 \text{ v.}$$

Cette sensibilité est obtenue pour une différence de potentiel entre cadrans de 60 v.

La méthode de correction employée est celle déjà décrite (12).

Voici comment je détermine la valeur du rapport f : j'évalue la vitesse v_1 de l'aiguille dans les conditions normales de saturation, le tube de garde G étant au sol (figure 3) et l'aiguille étant au voisinage du zéro. J'évalue ensuite la vitesse v_2 , dans les mêmes conditions, mais l'aiguille étant au voisinage de l'élongation maxima. Il est plus pratique de tracer la courbe de la vitesse v en fonction de l'élongation de l'aiguille, d'où l'on déduit facilement les valeurs v_1 et v_2 . On peut alors écrire :

$$f = \frac{I_0}{I} = \frac{v_1}{v_1 - v_2}.$$

Pour mon appareil f est toujours supérieur à 100, de sorte que le potentiel du tube de garde G doit être :

$$U = 0,50 \dots V.$$

Ce potentiel obtenu par un dispositif potentiométrique est mesuré par l'électromètre lui-même ($U = 50$ divisions micro-métriques) (17, e).

19. Méthode de compensation. — Pendant toute la mesure, la charge électrique totale reçue par la tige centrale et l'aiguille de l'électromètre croît régulièrement. Pour éviter que

(1) L'hystérésis de torsion peut fausser considérablement les mesures. Il faut faire une correction supplémentaire de dérive de zéro.

l'aiguille dévie, il suffit de faire varier dans un sens convenable le potentiel auquel le récipient d'ionisation est porté (compensation par influence).

Voici le dispositif employé (figure 6) : une différence de potentiel étalon est introduite progressivement par un dispositif potentiométrique dans le circuit de charge du récipient. En pratique, il est préférable d'opérer l'introduction par bonds successifs, de façon que l'aiguille de l'électromètre oscille autour de son zéro. On mesure alors plus facilement le temps au bout duquel le potentiel étalon a été entièrement

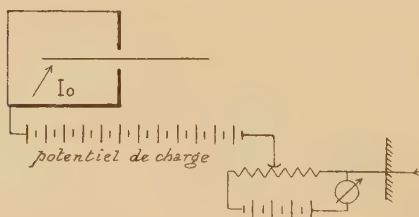


Fig. 6. — Schéma de la méthode de compensation.

ajouté au potentiel de charge, l'aiguille étant revenue rigoureusement à son zéro.

La précision de la méthode ne dépend que de la précision du chronomètre, de la précision du potentiel étalon, et de la stabilité des piles de charge (13).

20. Mesure de la capacité. — *a)* Je détermine par le calcul une valeur grossière de la capacité à mesurer. Je trouve :

5 UES (centimètres).

b) Je construis un petit condensateur auxiliaire ajustable, isolé à l'ambre, dont la capacité puisse osciller autour de 5 UES (figure 7).

c) J'étalonne ce condensateur auxiliaire par comparaison avec un condensateur étalon.

d) Je mesure la capacité de l'appareil dans les conditions d'emploi, en utilisant le condensateur ainsi étalonné.

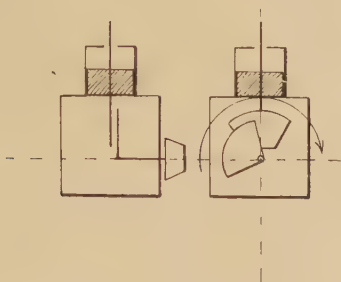


Fig. 7. — Petit condensateur auxiliaire ajustable (5 UES).

21. Etalonnage de la capacité auxiliaire. — Le récipient d'ionisation est rempli d'air très pur desséché et filtré. On laisse stabiliser 4 à 5 jours ⁽¹⁾ de façon que l'intensité d'io-

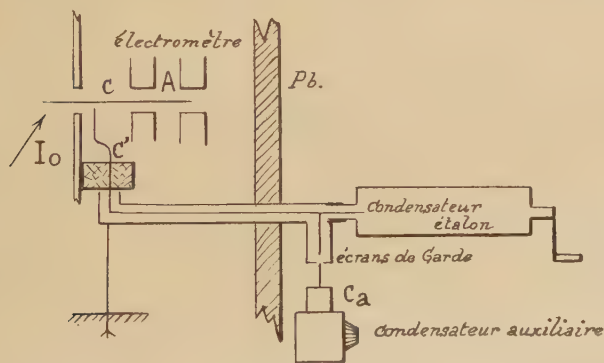


Fig. 8. — Disposition des organes pour l'étalonnage de la capacité auxiliaire.

⁽¹⁾ Plus d'un mois si l'air contient du radon en quantité anormale (24).

nisation soit devenue invariable. L'aiguille de l'électromètre est alors reliée à un condensateur étalon, par l'intermédiaire du dispositif de mise à la masse (17, e). Ce condensateur est réglé à une valeur aussi faible que possible (résiduelle). Puis on pose, à une distance convenable du récipient d'ionisation, une capsule à radium. On mesure la vitesse v_1 de déviation, qui doit être faible mais mesurable avec précision. On augmente la capacité du condensateur étalon de la valeur c_A à laquelle on désire ajuster le condensateur auxiliaire. On mesure la nouvelle vitesse v_2 . On ramène la capacité du condensateur étalon à sa valeur première, on branche le condensateur auxiliaire que l'on ajuste de telle façon que la vitesse de déviation soit inchangée : à ce moment sa capacité a pour valeur c_A .

Les précautions habituelles sont prises : écrans de garde, écrans de plomb entre la source radiante et les condensateurs (figure 8).

J'ai obtenu dans mes expériences la moyenne :

$$c_A = 5,2 \pm 5 \text{ o/o UES.}$$

22. Capacité de l'appareil. — La mesure de la capacité de l'appareil n'offre que peu de difficultés ; cependant si l'on désire avoir un résultat précis, il est nécessaire de faire un grand nombre de mesures et d'en prendre la moyenne.

J'appelle T_1 T_2 T_3 les temps que met l'aiguille à passer de l'élongation zéro à l'élongation maxima, lorsque l'air contenu dans le récipient d'ionisation est convenablement stabilisé (on a supprimé la capsule à radium), et lorsque les capacités successives de l'appareil sont, dans les conditions d'emploi, c , $c + c'$, $c + c' + c_A$, c représentant la capacité de l'appareil, c' celle du dispositif de mise à la masse, c_A , celle du condensateur auxiliaire. On a :

$$I_0 T_1 = cV \quad I_0 T_2 = (c + c')V \quad \text{et} \quad I_0 T_3 = (c + c' + c_A)V$$

d'où l'on tire :

$$c = c_A \frac{T_1}{T_3 - T_2}.$$

Voici la série de mesures effectuées :

TABLEAU III

Air prélevé le 10 juillet 1933 à (540 mm. + 15° C)			
T ₁ =	22 m. 54 s. 0	22 m. 01 s. 2	21 m. 12 s. 04
Moyenne . . .	22,003 minutes		
T ₂ =	27 m. 00 s. 4	26 m. 20 s. 0	26 m. 30 s. 8
Moyenne . . .	26,490 minutes		
T ₃ =	45 m. 52 s. 0	49 m. 12 s. 4	47 m. 34 s. 6
Moyenne . . .	47,696 minutes		

D'où l'on tire :

$$c = 5,2 \frac{22\ 003}{21,206} \neq 5,4 \text{ UES.}$$

Malheureusement ce résultat n'est qu'approché, parce que l'étalonnage fourni par le constructeur du condensateur qui m'a servi à ajuster la capacité auxiliaire (20, c) est lui-même peu précis.

23. Nombre d'ions. — Les résultats précédents permettent d'évaluer la production d'ions à l'intérieur du récipient, pour l'échantillon d'air étudié. En prenant pour valeur de la charge élémentaire

$$e = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ UES}$$

je trouve :

$$\text{Nombre d'ions/cc/sec} = 7,282.$$

Les mesures de l'intensité I₀ d'ionisation sont très précises, mais la valeur de c étant grossière, j'ai arrondi les

résultats d'étalonnage : pour $T_1 = 22$ minutes, $N = 7$ ions/cc/sec, mesurés dans les conditions d'utilisation de l'appareil, pression ambiante, 540 mm. de mercure, $+ 15^{\circ}$ C. (Température moyenne normale du laboratoire).

24. Résultats obtenus. — Les premiers résultats obtenus avec cet appareil se rapportent à l'activité spontanée du type radon de l'air avec lequel j'avais tout d'abord rempli le récipient d'ionisation (air actif prélevé à l'Observatoire en février-mars 1932).

La précision des mesures fut telle que je trouvai comme période d'activité une valeur comprise entre 3,85 et 3,86 jours. J'en reparlerai plus loin (44).

Le tableau suivant montre l'ensemble des résultats obtenus pour la radiation globale pénétrante (14). Les nombres d'ions sont toujours rapportés aux conditions normales locales.

TABLEAU IV

Epoque	Nombre d'ions	Enneigement	Mesures
12.5.33 . . .	10,30	2,75 m.	Vitesse
13 — . . .	9,94	2,65	de déviation
14 — . . .	10,00	2,60	corrigée
20.7.33 . . .	7,14	pas de neige	Compensation
21 — . . .	6,96	—	—
26 — . . .	8,82	—	—
27 — . . .	6,78	—	—
29 — . . .	6,83	—	—
30 — . . .	6,80	—	—
2.8.33 . . .	6,92	—	—
9 — . . .	6,60	—	—
12 — . . .	6,64	—	—
22 — . . .	6,69	—	—
20 11 33. . .	10,56	1,35 m.	—
21 — . . .	9,95	1,30	—
22 — . . .	12,34	—	—
25 — . . .	13,73	1,45	—
29 — . . .	12,93	1,55	—
21.12.33. . .	14,40	1,30	—

25. Interprétation de ces résultats. — Les nombres d'ions donnés au tableau précédent représentent la somme des nombres dus à la radiation cosmique et de ceux dus à la radiation d'origine radioactive terrestre et atmosphérique.

Pour effectuer une interprétation correcte de ces résultats, il est nécessaire de connaître la valeur de la radiation cosmique. Pour cela, j'ai consulté plusieurs mémoires (15, 16, 17, 18) d'où j'ai tiré qu'on pouvait admettre qu'au Pic du Midi, la radiation cosmique produisait à peu près 5 ions/ cc./ sec., dans l'air sec à la pression locale normale. J'ai admis cette valeur pour mon appareil, négligeant l'effet d'écran du laboratoire et les effets secondaires des parois du vase.

De cette façon, on peut dire qu'à l'Observatoire la radiation d'origine radioactive produit 2 ions en été ; elle augmente en hiver et donne la valeur maximum de 9 ions.

Ce résultat très important, même s'il n'était que très approximatif (rentrées d'air accidentelles, dues aux joints imparfaitement étanches du récipient), est en parfait accord avec l'apparition d'une grande quantité de radon en hiver (19).

CHAPITRE IV

Activation des fils.

26. Résultats. — Je ne décrirai pas cette méthode d'investigation, parce que j'ai suivi les indications données dans les ouvrages classiques. Seulement au lieu d'opérer en plein air, le fil à activer de 4 m. de long, était tendu au milieu du laboratoire entièrement fermé. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que j'ai trouvé du thoron, puisque la pièce du laboratoire est adossée au rocher (4). La porosité du mur suffit à laisser passer les émanations venues du sol. Voici, sous forme de tableaux quelques-uns des résultats obtenus :

TABLEAU V

Epoque et durée d'activation	Intensité d'ionisation sans le fil activé	Avec le fil activé, au début de la désactivation
1 ^{er} avril 1933 3 heures Tension : 20 000 v.	1	200

TABLEAU VI

Epoque et durée d'activation	Epoque de désactivation	Intensité d'ionisation
2 avril 1933 3 heures Tension : 20 000 v.	0	
	2 minutes	395
	5 —	390
	20 —	370
	33 —	348
	40 —	324
	78 —	225
	600 —	0

TABLEAU VII

Epoque et durée d'activation	Epoque de désactivation	Intensité d'ionisation
6 avril 1933 27 heures Tension : 10 000 v.	0	
	4 minutes	736
	10 —	687
	20 —	606
	40 —	417
	81 —	198
	203 —	60
	510 —	41
	1 230 —	18

TABLEAU VIII

Epoque et durée d'activation	Epoque de désactivation	Intensité d'ionisation
6 avril 1933 10 minutes Tension : 20 000 v.	0	
	4 minutes	615
	7 —	380
	12 —	292
	20 —	277
	27 —	274
	40 —	260

27. *Interprétation.* — Il est difficile de déduire une conclusion précise des nombres précédents, parce que la composition de l'air du laboratoire varie pendant toute la durée de l'activation. J'ai cependant tracé la courbe du 4 avril (tableau VII) (fig. 9) parce qu'elle met très clairement en évidence la présence du thoron dans l'air du laboratoire.

Toutes les autres mesures permettent de dire que l'activité du fil due aux dépôts du thoron est de l'ordre du dixième de l'activité due aux dépôts du radon.

En remarquant que le thoron présent dans la pièce du laboratoire a mis à traverser les parois un temps très long par rapport à sa période (56 s.) on peut en déduire que la pro-

portion de thoron par rapport au radon est grande dans le sous-sol.

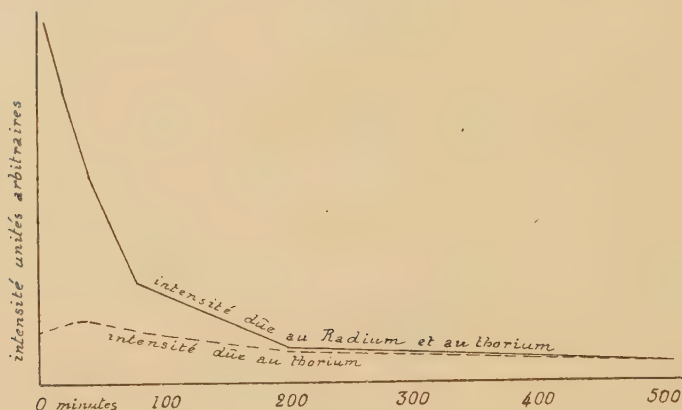


Fig. 9. — Courbe de désactivation d'un fil activé à l'intérieur du laboratoire.

28. Remarque. — J'ai toujours considéré ces mesures, à l'époque où je les ai faites, comme trop grossières pour qu'elles fussent à lever le doute au sujet de l'origine du radon.

J'étais persuadé que le radon, dont j'avais mesuré avec précision la période (24) était d'origine accidentelle (14) (15).

Je me suis mis alors à explorer avec beaucoup de soins toutes les dépendances de l'Observatoire, effectuant partout des mesures de radiation pénétrante et de teneur en radon de l'air. Ces mesures très longues et très fastidieuses n'aboutirent à aucun résultat net. Je ne les décrirai pas parce qu'elles ne présentent aucun intérêt.

Tel jour, je trouvais partout une teneur considérable en radon (19), même dans le couloir central en pleine aération. Le lendemain tout avait disparu. Quant à la radiation pénétrante globale, invariable d'un point à un autre, elle variait peu et lentement avec le temps, comme je l'ai déjà montré (24).

CHAPITRE V

Dispositif d'enregistrement de la teneur en radon.

29. Principe. — L'air dont on veut étudier la teneur en radon est parfaitement desséché et filtré. On l'envoie de façon continue dans un grand récipient métallique cylindrique par

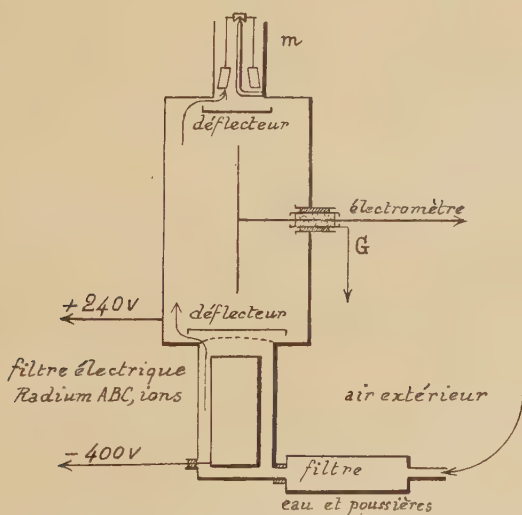


Fig. 10. — Schéma de montage pour l'enregistrement continu de la teneur en radon.

une ouverture inférieure munie d'un déflecteur (fig. 10) à une vitesse telle que le radon qu'il contient ait eu le temps de se

mettre en équilibre avec les dépôts ABC⁽¹⁾, avant d'avoir été expulsé du récipient par l'ouverture supérieure. Cette vitesse est donc telle que l'air du récipient n'est entièrement renouvelé qu'en un temps τ de 3 heures environ.

Un dispositif électrométrique particulier permet de mesurer et d'enregistrer l'intensité du courant voisin de la saturation à l'intérieur du récipient (35), (38) ; cette intensité renseigne sur la teneur en radon de l'air étudié.

L'air qu'on envoie dans le récipient est puisé soit à l'extérieur, soit sous la couche de neige. Il est donc toujours plus froid que l'air du laboratoire, en sorte que les tranches d'air successives se propagent de bas en haut dans le récipient sans se mélanger. Cet effet est encore favorisé par la faible vitesse de l'air et l'action des déflecteurs.

30. Interprétation. — L'interprétation exacte de la courbe d'enregistrement obtenue avec ce dispositif serait très délicate. Mais elle peut se faire avec une approximation très satisfaisante, aux conditions suivantes :

a) On néglige les perturbations apportées par les variations de température et de pression à l'intérieur du vase, perturbations qui sont d'ailleurs faibles (VIII, 48 b).

b) L'air passe dans le récipient à vitesse constante V . Les tranches d'air successives se propagent, comme je l'ai dit (29) sans turbulence.

c) L'air admis dans le récipient est rigoureusement exempt d'eau, de poussières, d'ions gros et petits, et des dépôts ABC (34).

d) Les calculs (31) ne seront valables que lorsque les teneurs E en radon de l'air admis dans le récipient pourront être considérés comme constantes pendant plus d'une heure.

(1) Radiums A, B et C dus à la désintégration spontanée du radium.

[L'intensité d'ionisation a atteint alors 90 o/o de l'intensité limite obtenue en 3 heures (20)].

e) La production des dépôts ABC à partir du radon admis dans le récipient se fait suivant une loi exponentielle simple de période :

$$T = \frac{0,69}{\lambda} \approx 30 \text{ minutes.}$$

f) L'évolution propre du radon, $T = 3,85$ jours pendant toute la durée de son passage dans le récipient, 3 heures environ, est négligeable.

La condition e) n'est pas rigoureuse : il faudrait en effet faire intervenir les lois de transformation des trois corps ABC, et leur coefficient respectif de pouvoir ionisant; fonction de la forme et du volume du récipient, et de la pression d'air.

Ceci posé, soit di_1 et di_2 les intensités partielles élémentaires dues au radon seul, et à ses dépôts ABC contenus dans la tranche d'air $S \, dx$ (fig. 11); c_1 et c_2 leur coefficient de pouvoir ionisant respectif; di l'intensité totale élémentaire; on a :

$$\begin{aligned} di_1 &= SE \, dx \, c_1 \\ di_2 &= SE \, dx \, c_2 (1 - e^{-\lambda t}) \\ di &= di_1 + di_2 \dots \end{aligned}$$

mais on a : (b)

$$t = \frac{v}{V}$$

de sorte que :

$$\frac{di}{dt} = SEV [c_1 + c_2 (1 - e^{-\lambda t})] \quad (1)$$

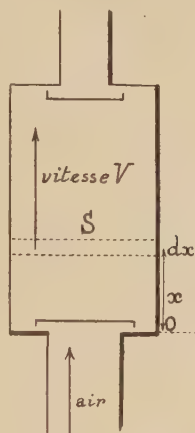


Fig. 11. — Propagation des tranches d'air dans le récipient d'ionisation de l'appareil enregistreur.

Cette formule donne la pente :

$$p = \frac{dI}{dt}$$

de la tangente à la courbe d'enregistrement de l'intensité d'ionisation en fonction du temps.

31. Cas particuliers. — *a)* On admet sans transition de l'air de teneur constante E dans le récipient où l'intensité d'ionisation a été préalablement stabilisée avec de l'air pur. La formule (I) devient, pour $t = 0$ et $t = 3$ heures :

$$p_1 = SEVc_1 \quad \text{et} \quad p_2 = SEV(c_1 + c_2)$$

Le rapport de ces deux pentes permet d'évaluer le rapport des coefficients c_1 et c_2 :

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{p_1}{p_2 - p_1}$$

b) Inversement l'intensité d'ionisation étant préalablement stabilisée avec de l'air de teneur homogène E' , on admet sans transition de l'air pur dans le récipient. La formule (I) devient :

$$p = SE'V(c_1 + c_2) \quad (\text{II})$$

la pente p est donc constante. Dans la réalité, il n'en est pas tout à fait ainsi, mais le résultat final n'est pas changé.

En effet, seule une fraction $\frac{1}{\gamma}$ des dépôts ABC appartenant à la tranche d'air, est expulsée avec elle. Le reste conservé par fixation sur les parois du récipient, se détruit spontanément, suivant une loi exponentielle simple de période $T \approx 30$ minutes. On peut écrire :

$$-\frac{dI}{dt} = -SE'V \left(c_1 + c_2 \frac{1}{\gamma} \right) - \frac{\gamma-1}{\gamma} SE'V c_2 e^{-\gamma t}$$

de sorte que l'on a, pour $t = 0$ et $t = 3$ heures :

$$p'_1 = -SE'V \left(c_1 + c_2 \frac{1}{\gamma} \right) \quad p'_2 = -SE'V(c_1 + c_2)$$

La pente p'_2 est précisément la même que la pente p calculée précédemment.

La formule (II) permet d'évaluer le temps de renouvellement τ (29) de l'air dans le récipient. On a en effet :

$$\frac{I}{\tau} = -p \quad (\text{III})$$

ou I représente l'intensité d'ionisation stabilisée, lorsque l'air du récipient a une teneur homogène E .

Le rapport des deux pentes p'_1 et p'_2 permet d'évaluer la fraction $\frac{I}{\gamma}$:

$$\frac{I}{\gamma} = \frac{p'_1}{p'_2} \left(\frac{c_1}{c_2} + 1 \right) - \frac{c_1}{c_2}$$

32. Cas général. — On admet, toujours sans transition, de l'air de teneur E dans le récipient où l'intensité d'ionisation a été préalablement stabilisée avec de l'air de teneur E' . La formule (I) devient :

$$\frac{dI}{dt} = SEV [c_1 + c_2 (1 - e^{-\lambda t})] - SE'V (c_1 + c_2)$$

qui donne pour $t = 3$ heures :

$$p''_2 = p_2 + p'_2$$

33. Remarques. — *a)* Lorsqu'on emplît le récipient avec de l'air de teneur en radon connue, par exemple en utilisant un barboteur à solution radifère (VIII, 49), l'intensité d'ionisation stabilisée a précisément pour expression :

$$I = \tau p_2 = -\tau p'_2$$

de sorte que τ étant connu par la formule (III), on peut déduire les pentes p_2 qui correspondent à la teneur en radon connue.

b) Tous les calculs indiqués précédemment sont valables pour les courbes expérimentales, chaque fois que celles-ci

présentent une portion régulière sur une étendue de 1 heure et plus (30 d.). Ce n'est qu'exceptionnellement qu'il peut y avoir une variation lente de la teneur en radon de l'air admis dans le récipient : dans ce cas, les courbes enregistrées présenteront des pentes très différentes des valeurs calculées précédemment, et il sera facile de les éliminer de l'interprétation.

Enfin, si la teneur en radon devient très variable, les courbes enregistrées seront accidentées. Leur interprétation sera difficile sinon impossible.

34. Réalisation : filtrage et admission d'air. — Une turbine électrique fait passer à faible vitesse l'air aspiré par le trou S ou la cheminée A (figure 2) (4) du laboratoire, dans un filtre desséchant, dans un filtre électrique fixant les ions et les dépôts actifs (figure 10 et 12), et, en dernier lieu, dans le



Fig. 12. — Filtre pour l'eau et les poussières.

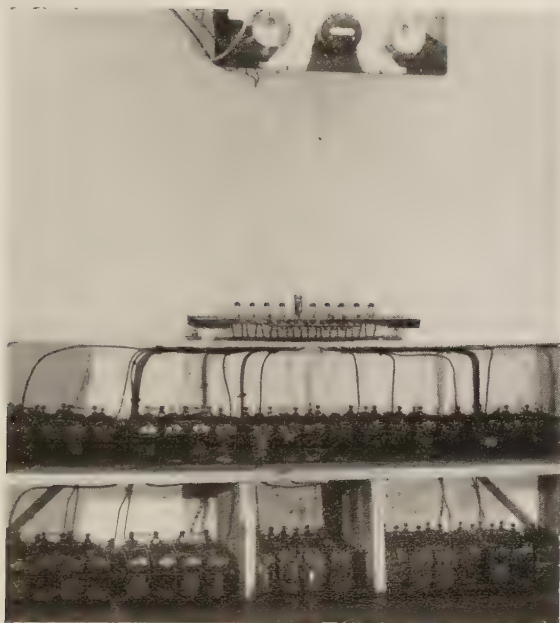
récipient de mesures. L'air est évacué par une cheminée munie d'un moulinet *m* (figure 10) pivoté sur saphir, permettant de contrôler la vitesse de passage de l'air.

a) Filtre desséchant : cylindre de fer de 1 litre. Composition du desséchant :

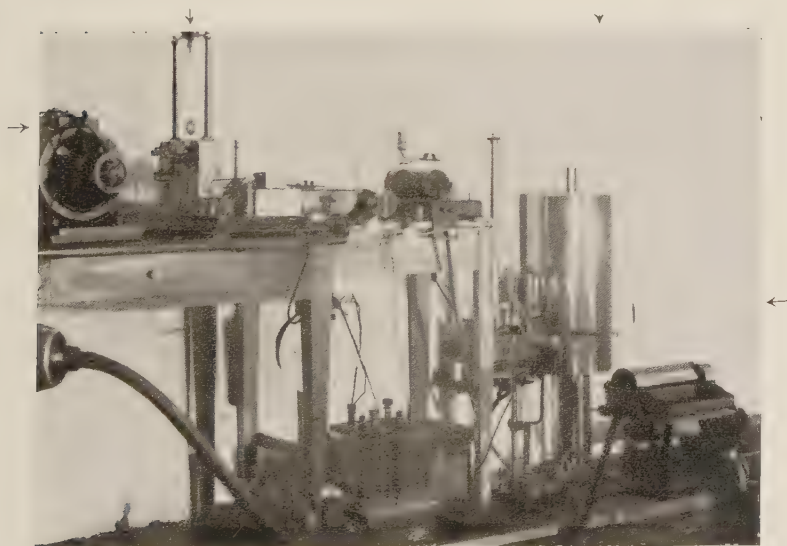
CaCl_2 , Ca, Na, en parties égales (figure 12).

b) Filtre électrique : condensateur cylindrique, longueur 200 mm., diamètre extérieur 100 mm. L'air à épurer passe entre les armatures (figure 10). Le champ entre celles-ci est d'environ 300 v./cm.

c) Récipient cylindrique de mesures : en laiton, volume



Photographie III
Batterie de 800 volts. Tableau de groupement et tableau de charge.



Photographie IV
Installation d'enregistrement de la teneur en radon,
les doubles repères situent le récipient d'ionisation (à droite)
et le pendule conique (à gauche).

22,68 litres. Surface intérieure des parois : 4 200 cm². Porté au potentiel constant de 240 v. (accumulateurs).

Il est muni, suivant son axe, d'une tige métallique supportée par un canon d'ambre véritable, traversant la paroi du récipient dans le tube de garde G (figure 10). Cette tige est reliée à l'une des deux paires de cadrans d'un électromètre à miroir, que l'on peut isoler périodiquement, par l'artifice d'un mouvement d'horlogerie à pendule conique, pendant un temps constant Θ . L'élongation maxima atteinte par l'équipage mobile — aiguille et miroir — de l'électromètre est enregistrée photographiquement.

Elle représente à un facteur près, l'intensité d'ionisation de l'air contenu dans le récipient.

35. Réalisation : enregistrement (photographie IV). — Mieux qu'une description nécessairement louffue, je me suis borné à tracer un croquis d'ensemble très détaillé (figure 13). J'attirerai seulement l'attention sur les points suivants.

Les contacts commandés par le mouvement d'horlogerie continu à pendule conique, en platine sur platine, doivent être exécutés avec un très grand soin. C'est d'eux que dépend la précision de l'enregistrement.

Le contact de gauche (fig. 13) isole le cadran périodiquement toutes les 90 secondes, pendant un temps constant $\Theta = 22,60$ secondes. Le contact de droite, dont la durée de fermeture ne doit pas excéder 0,2 seconde, donne un « éclat » dans la lampe L, qui doit s'enregistrer photographiquement par une petite tâche *encadrant exactement le point culminant de la course du spot*.

L'enregistreur photographique porte une feuille sensible de 170 × 300 mm. enroulée sur un cylindre faisant un tour en 4 jours. Le spot lumineux (image d'un filament rectiligne L) est concentré en un point par une lentille cylindrique⁽¹⁾ à grande ouverture relative.

(1) Cette lentille cylindrique est constituée par un tube de verre choisi, plein de glycérine et scellé à la lampe.

Enfin, l'ensemble est complété par une pendule à contacts et une petite lampe L' , permettant de tracer sur la feuille sensible des repères horaires (figure 14 *a, b* : courbes typiques).

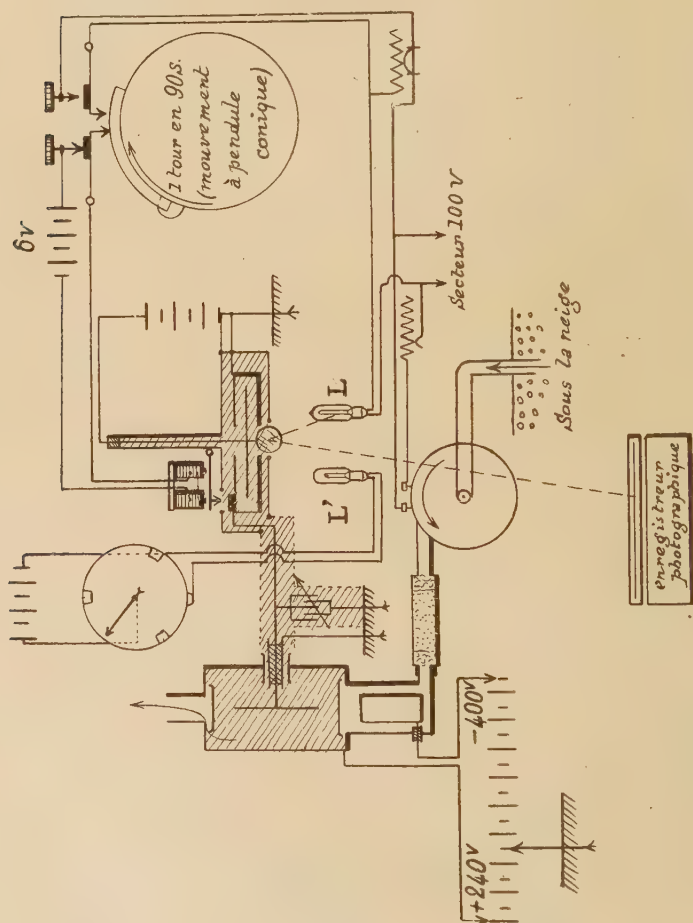


Fig. 13. — Disposition de l'ensemble des organes pour l'enregistrement continu de la teneur en radon.

36. Etalonnage en curie. — J'ai employé deux procédés :
a) Etant donné un appareil à feuille d'or déjà étalonné en

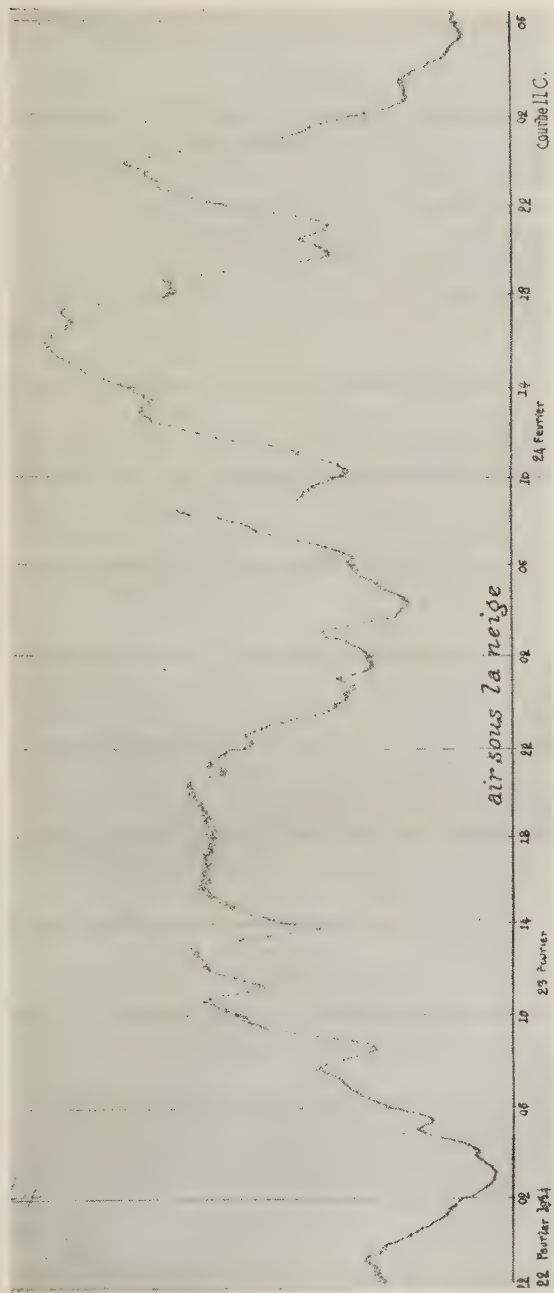


Fig. 14 a.

Type d'enregistrement photographique de la teneur en radon de l'air aspiré sous la couche de neige, avec zéro de l'électromètre et repères toutes les 4 heures.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

curie (IX, 50-55 *a*), il suffit de mesurer avec celui-ci la teneur en radon de l'air admis dans le dispositif enregistreur, lorsque ce dernier indique un maximum stable de l'intensité d'ionisation. On peut alors établir la correspondance entre les échelles de l'appareil à feuille d'or et du dispositif enregistreur (voir tableau XII, chapitre IX).

b) Etant donné un barboteur à solution radifère étalon (VIII, 47, 48, 49), il suffit de disposer celui-ci, dans les conditions normales d'emploi, sur la tubulure d'entrée d'air, avant le tube desséchant et la turbine électrique (34), de faire

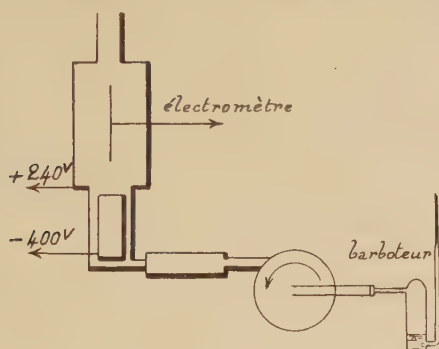


Fig. 15. — Dispositif d'étalonnage de l'appareil enregistreur.

tourner cette dernière, et d'enregistrer l'intensité d'ionisation (fig. 15), dont la valeur maximum est obtenue lorsque tout le radon du barboteur est passé dans le récipient et s'y est équilibré.

Les moyennes des résultats obtenus par ces deux procédés sont très voisines :

$$\left. \begin{array}{l} \text{élongation enregistrée,} \\ \text{réglage N de la sensi-} \\ \text{bilité (37 a) : 125 mm.} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ à } 63, 10^{-11} \text{ curie par litre,} \\ \text{aux conditions normales loca-} \\ \text{les.} \end{array} \right.$$

37. Etalonnage en ions. — La méthode habituelle est employée (volt-capacité), mais je procède naturellement par enregistrement.

a) J'ai commencé par établir la correspondance des sensibilités en quantité d'électricité, pour divers réglages du dispositif électrométrique. Les résultats sont exprimés dans le tableau suivant; le réglage N est utilisé pour étudier l'air très actif aspiré sous la couche de neige (VI), le réglage A, pour étudier l'air beaucoup moins actif prélevé dans l'atmosphère libre (VII).

TABLEAU IX

Volts aiguille électromètre	Capacité auxiliaire graduée de 0 à 180	Sensibilité : déviati on angulaire pour une même quantité d'électr.	Distance miroir enregistreur
21 réglage N	180	0,54	0,50 m.
31.	non connectée	2,79	2,80
31.	0	2,08	—
31.	180	1,00	—
42.	0	2,29	—
63 réglage A	non connectée	3,04	—
63.	0	2,46	—
63.	180	1,40	—
89.	0	2,53	—
89.	180	1,54	—

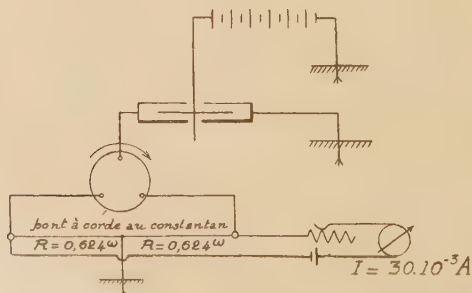


Fig. 16. — Mesure de la sensibilité en volts de l'électromètre.

b) J'adopte le réglage A et j'enregistre les élongations successives obtenues pour une tension connue appliquée au

cadran isolé de l'électromètre, tension dont on renverse périodiquement la polarité par un dispositif automatique (fig. 16).

Résultats :

$$26 \text{ mm. } 5 \text{ élongation} = 18,72 \cdot 10^{-3} \text{ volt}$$

$$1 \text{ mm. élongation} = 0,706 \cdot 10^{-3} \text{ volt}$$

c) Le même réglage A est conservé. Le récipient, dont les orifices ont été fermés, est plein d'air actif. On laisse stabiliser l'intensité d'ionisation, et l'on enregistre les élongations obtenues successivement pour des capacités diverses de l'appareil : capacité propre c_A , à laquelle on ajoute une capacité auxiliaire c (fig. 17) et une capacité étalon c_E , ces deux dernières pouvant être réglées à diverses valeurs.

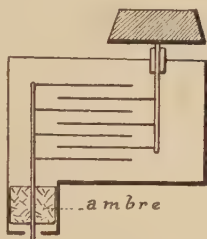


Fig. 17. — Grand condensateur auxiliaire ajustable (125 UES).

Le dépouillement des courbes obtenues permet d'écrire un système d'équations qui, résolues par approximations successives, donnent les valeurs c_A et c .

Résultats :

$$c_A = 110 \pm 2 \text{ o/o} \quad \text{UES}$$

$$c, \text{ résiduelle} = 25 \pm 3 \text{ o/o} \quad \text{UES}$$

$$c, \text{ index } 180 = 125 \pm 2 \text{ o/o} \quad \text{UES}$$

d) La capacité et la sensibilité en volt étant déterminées, on peut calculer la sensibilité à la charge, ou la correspondance des élongations aux nombres d'ions captés à l'intérieur du récipient :

On a, (35) :

$$c_A \cdot v = n \cdot v \cdot \theta \cdot e$$

avec :

$$v = 0,706 \cdot 10^{-3} \text{ volt}$$

$$e = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ UES}$$

D'où l'on tire :

$$1 \text{ mm. élongation, réglage A} = \frac{76,66}{73,35} \text{ ion/cc/sec.}$$

38. *Remarque I.* — Le tableau IX permet d'écrire :

$$\frac{\text{Sensibilité réglage A}}{\text{Sensibilité réglage N}} = 31,5.$$

Remarque II. — Dans le dispositif d'enregistrement, j'ai adopté une tension de charge du récipient de 240 v (34 c) qui permet d'approcher la saturation. Il ne faut pas utiliser une tension trop élevée, l'exactitude des mesures dépendant des variations absolues de cette tension pendant le temps d'isolement θ . D'autre part, la fraction de saturation varie en sens inverse du nombre d'ions formés, pour une même tension de charge, et d'autant plus que celle-ci est moins élevée (20). Il y a donc intérêt à choisir une tension convenable de telle sorte que l'on puisse négliger ces deux effets.

Remarque III. — a) L'étalonnage en curie a donné (36) :

$$125 \text{ mm.} = 62 \cdot 10^{-11} \text{ curie/litre.}$$

b) D'autre part on a (37 d) :

$$125 \text{ mm.} = 125 \cdot 31,5 \frac{76,66}{73,35} = 4 \ 115 \text{ ions}$$

c) La formule de Duane et Laborde (21) permet de calculer le nombre maximum n d'ions produits à l'intérieur du récipient pour une teneur en radon de :

$$62 \cdot 10^{-11} \text{ curie/litre}$$

à la pression normale de 760 mm.

$$6,2 \cdot 10^{-11} \cdot 6,31 \left(1 - 0,572 \frac{S}{V} \right) \cdot 10^6 = n \cdot 4,77 \cdot 10^{-10}$$

avec :

$$S = 4 \ 200 \text{ cm}^2 \quad V = 22 \ 700 \text{ cm}^3 \quad (34 c),$$

d'où :

$$n \approx 6\,000 \text{ ions/cc/sec.}$$

L'écart entre cette valeur et la valeur trouvée expérimentalement provient en partie du manque de saturation, en partie de l'effet de pression, et probablement aussi de l'absorption partielle du radon par le tube à desséchants (34).

CHAPITRE VI

Résultats d'enregistrement de la teneur en radon. Air prélevé sous la couche de neige.

39. Remarques générales. - Pendant les années 1933-1934-1935, j'ai obtenu un grand nombre de feuilles trijournalières d'enregistrement. La figure 14 *a* reproduit une courbe typique (teneur en radon très agitée).

Dans la plupart des cas, les variations enregistrées sont très irrégulières (22). On trouve rarement une évolution lente de l'intensité d'ionisation. Au contraire les points anguleux des courbes sont très nombreux, ce qui indique le passage brusque d'une valeur à une autre de la teneur en radon.

L'intensité d'ionisation peut devenir très faible (0 mm. 5 d'élongation, réglage N, ou 15 à 20 mm., réglage A) (37 *a*), analogue au minimum obtenu pour l'air puisé à l'extérieur (VII), elle correspond à peu près à une teneur de :

$$10^{-13} \text{ curie/litre.}$$

L'intensité maxima (110 à 140 mm. d'élongation, réglage N) évaluée soit par le « plafond » des courbes, soit par l'étude des pentes $p_1 p_2 p'_2 p''_2$ (V, 31, 32) est atteinte très fréquemment. Elle correspond à une teneur en radon de :

$$60. 10^{-14} \text{ curie/litre environ} \quad (36)$$

Les variations de la teneur semblent n'avoir aucun rapport avec celles de la pression et de la température. Seul, le régime des vents étudié par une girouette perfectionnée

placée à 25 m. au-dessus de l'observatoire (figure 18) est lié assez étroitement avec la teneur moyenne en radon de l'air aspiré sous la neige : l'intensité maxima se présente par vent du secteur NW, l'intensité minima, par vent du secteur N à S.

Enfin, lorsque en été les neiges ont disparu, il n'est plus possible de recueillir à la surface du sol de l'air qui présente une activité anormale.

40. *Interprétation d'une série de courbes.* — J'ai porté sur le tableau suivant toutes les indications susceptibles d'éclairer le lecteur. Les teneurs ont été évaluées par le procédé des

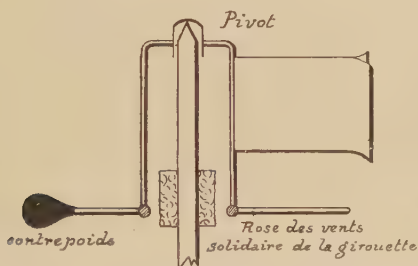


Fig. 18. — Coupe de girouette à 1 pivot et rose des vents solidaire.

pentes (31, 32), et toutes les fois que la courbe a une allure satisfaisante, j'ai calculé le rapport :

$$\frac{c_2}{c_1}$$

et la fraction :

$$\frac{1}{\gamma} \quad (31)$$

J'ai trouvé que le rapport $\frac{c_2}{c_1}$ était voisin de 1,1 ce qui

TABLEAU X

Série 3-1-34 8-10-34										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	
	h. m.			m/m						
3/5.1.34	2 24	2	?	600	2,15	M	1,3	o	NE — W-NW : 60	
6/8.1.34	2 12	1	1	240	—	b			WNW : 60 — NE	
8/10.1.34	2 24	4	2	720	2,10	b			W — 2NW : 60	
11/13.1.34	1 50	2	2	240	—	M	1,0	o	SW — NW : 60	
14/17.1.34	2 12	1	2	330	—	M		o	NW — NW : 60	
20/23.1.34	2	4	1	84	2,80	M		o	? (W à NE)	
23/26.1.34	2	2	2	64	2,50	m		o	NE — NW : 60.	
26/29.1.34	?	1	?	70	2,35	b	1,0		NW ?	
29/1-1/2.34	?	1	?	37	2,70	M			NE — W : 60	
1/4.2.34	?	?	1	65	2,50	m			NE	
4/7.2.34	1 24	1	1	37	—	b			NE	
7/10.2.34	2 12	0	2	22	2,30	b			NE.SW	
10/13.2.34	?	0	2	27	—	b			NE	
16/19.2.34	faible teneur			6	—	B			NE	
19/22.2.34	—			8	—	B			NE	
22/25.2.34	2	5	0	42	2,20	M			W à SW	
25/28.2.34	1 24	4	0	76	—	M	1,3	o	SW — NW : 60	
4/7.3.34	?	?	?	73	2,25	M		o	NE — NW : 60	
7/10.3.34	?	0	2	27	2,30	m		o	SW à NW	
10/13.3.34	2	3	?	20	—	M			SW	
13/16.3.34	2	3	1	63	—	M			SW à NW	
8/5.5.34	2 35	3	0	84	3,40	vents ts	côtés faibles (W)			(E)
11/14.5.34	?	?	?	9	3,10	—			(E)	
14/17.5.34	?	?	2	40	?	M			(E)	

A : dates des feuilles trijournalières. B : temps que met l'air du récipient (22,7 litres) à être entièrement renouvelé. C : nombre de déterminations de la teneur en radon égale à 60.10^{-11} curie par litre. D : nombre de déterminations d'une teneur inférieure. E : ordonnée moyenne enregistrée ; 600 m/m correspondent à peu près à 30.10^{-11} curie par litre. F : hauteur de neige sur les terrasses de l'Observatoire. G : temps prédominant ; M : mauvais ; m : médiocre ; B : très beau ; b : beau.

H : valeur du rapport :

$$\frac{c_2}{c_1}$$

I : valeur de la fraction :

$$\frac{1}{\gamma}$$

K : vents dominants ; deux observations précises du vent de W à NW en relation avec la teneur maxima 60.10^{-11} , sont notées :

2 NW : 60

signifie que l'ionisation totale dans le récipient est due moitié au radon, moitié aux dépôts ABC ⁽¹⁾.

Pour la fraction $\frac{1}{\gamma}$, j'ai trouvé zéro, ce qui veut dire que tous les dépôts actifs sont retenus sur les parois du récipient.

Enfin, chaque observation sûre faite à la girouette, quand le vent souffle de NW, correspond soit à un accroissement, soit à un « plafond » élevé de la teneur en radon.

(¹) En réalité, étant assez loin de la saturation, les ions dus aux rayonnements plus pénétrants des dépôts ABC, sont captés en plus grande proportion que les ions dus au radon. Il en résulte que c_2 est supérieur à c_1 .

CHAPITRE VII

Résultats d'enregistrement de la teneur en radon. Air prélevé dans l'atmosphère libre.

41. Remarques générales. — Les enregistrements ont été effectués pendant l'année 1935. La figure 14 *b* représente une courbe typique (teneur en radon très agitée).

Les variations quand il y en a, sont brusques, avec points anguleux de la courbe. L'étude des pentes (V. 30 et suiv.) accuse la présence dans l'air étudié, de petites fractions très riches en radon.

L'intensité d'ionisation minimum est beaucoup plus fréquente que dans le cas précédent (8 mm. 5 d'élongation, réglage A)-(37. *a*), mais elle ne se présente jamais lorsque le vent souffle de NW.

L'intensité maxima, 10 fois plus grande, est la caractéristique très nette d'un vent de mauvais temps (NW).

Enfin, en été, lorsque les neiges ont disparu, l'intensité reste à peu près constante, et légèrement inférieure à la valeur minimum d'hiver.

42. Interprétation. — Il est hors de doute que le radon contenu dans l'atmosphère libre, dans les conditions de prélèvement des expériences provienne directement du sol sous-jacent. Les pentes des courbes enregistrées sont nettement supérieures à celles qui correspondent à la teneur maxima déduite du « plafond » de ces courbes (X, 56). Cela prouve que l'air riche issu de la neige ou des fissures de rochers non enneigés, n'a pas eu le temps de former un mélange

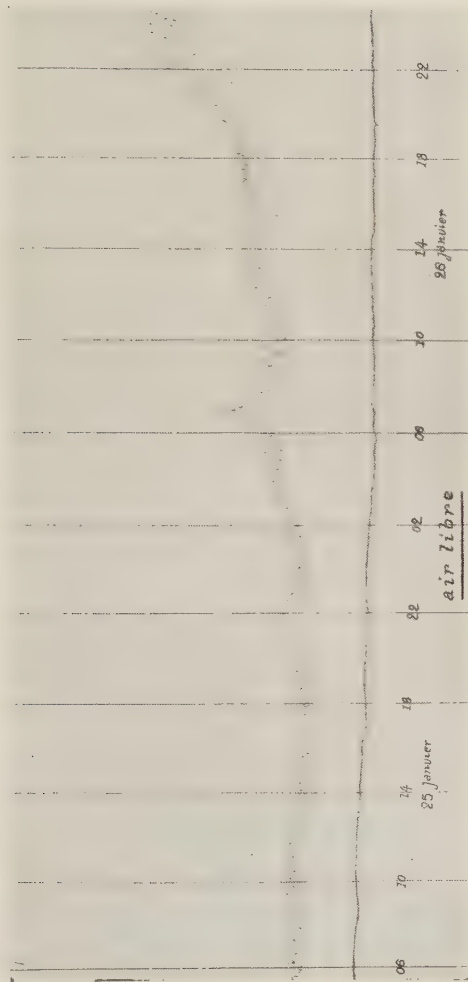


Fig. 14 b.

Type d'enregistrement de la teneur en radon de l'air aspiré dans l'atmosphère libre,
avec zéro de l'électromètre et repères toutes les 4 heures.

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

homogène avec l'air libre, avant d'être introduit dans l'appareil de mesures.

L'élongation maxima, sur la série 1935, a été atteinte deux fois :

$$90 \text{ mm.} = 90 \text{ à } 95 \text{ ions/cc/sec} = 1,3.10^{-11} \text{ curie/litre.}$$

L'élongation minima donne (37 d) :

$$8 \text{ mm } 5 = 8,9 \text{ ions cc/sec}$$

cette dernière valeur représente la somme des nombres d'ions dus à la radiation cosmique, à la radiation radio-active, et à la teneur en radon. Des résultats établis précédemment (24, 25), radiation cosmique 5 ions, radiation radio-active 4 à 9 ions, on déduit que l'activité propre de l'air ne donne, dans ce cas, qu'une très petite fraction d'ion.

Ce dernier résultat est très important. Il permet d'affirmer que la teneur en radon la plus faible de l'air libre au Pic du Midi, est bien inférieure à la teneur moyenne normale mesurée dans la plaine, à faible altitude (I. 9) ⁽¹⁾.

43. Remarque. — L'intensité d'ionisation minimum est sensiblement la même en été et en hiver.

J'ai montré d'autre part que la radiation radio-active augmentait pendant la période des neiges (III, 25). Il en résulte que l'activité propre minimum de l'air libre est plus grande en été qu'en hiver : En l'absence de neiges, le radon se dégage librement dans l'atmosphère, tandis qu'en hiver, retenu par la couche de neige, il se détruit spontanément sans diffuser.

⁽¹⁾ La formule de Duane et Laborde (38 c) permet d'évaluer approximativement la production d'ions dans mon appareil, correspondant à la teneur normale 10^{-13} curie par litre. On trouve 1 ion.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE VIII

Généralités.

44. Résultats précédents. — Les résultats exposés dans la première partie mettent en évidence l'accumulation de fortes quantités de radon sous la couche de neige, à l'Observatoire du Pic du Midi.

La mesure très précise de la période du gaz radio-actif ($T = 3,85$ jours) que j'ai effectuée avec l'appareil à électromètre de Lindemann (III, 24), les enregistrements de la teneur en radon, tant pour l'air extérieur (VII) que pour l'air aspiré sous la couche de neige (VI), la disparition de toute activité anormale en été (VII, 41), tout contribue à lever les derniers doutes à ce sujet.

Mais toutes ces expériences ayant été faites au laboratoire, j'ai pensé qu'il serait très utile d'étendre les recherches à l'extérieur, soit dans les environs du Pic du Midi, soit même dans toute la chaîne des Pyrénées (3). C'est alors que j'ai commencé à étudier la réalisation d'appareils portatifs, et, après deux années de tâtonnements, j'ai mis au point un premier dispositif, à feuille d'or, lourd, encombrant et délicat, puis un second, très léger et très robuste.

45. Conditions et principe des mesures. — *a)* Les difficultés que l'on rencontre, lorsqu'on veut imaginer un appareil portatif pour les mesures de radon en montagne, sont consi-

dérables. Il faut que le matériel soit très transportable, qu'il résiste parfaitement aux fortes variations de température, aux chocs, et surtout, il faut que l'exactitude des mesures ne puisse jamais être mise en doute, quelles que soient les conditions météorologiques : tourmente, neige volante, froid rigoureux, etc.

b) Le premier appareil que j'ai utilisé pour les mesures de ce genre est constitué essentiellement d'un récipient de 3 litres de capacité, étanche, au milieu duquel est un électroscope à feuille d'or que l'on peut charger à un potentiel élevé (IX, 50) (fig. 24). J'ai fait avec lui un grand nombre de randonnées dans les environs immédiats du Pic du Midi. J'ai appris ainsi tous les défauts inhérents à ce type d'appareil. Tout d'abord, le récipient doit être transporté à peu près verticalement et, malgré cela, on n'est jamais sûr de la conservation de la feuille d'or. Ensuite, comme le récipient est de grand volume, le prélèvement de l'échantillon d'air à étudier est long, et pénible par mauvais temps. On ne peut jamais faire de mesure immédiatement après : les courants de convection provoqués par les différences de température entre l'air et les parois du récipient ont une action considérable sur la stabilité de la feuille d'or. Enfin l'appareil est lourd.

c) Je me suis alors décidé à imaginer un nouvel appareil où tous les défauts que je viens d'énumérer seraient supprimés.

Au lieu d'un électroscope, il y a dans l'axe d'un récipient cylindrique de 0 l. 5 de capacité (IX, 52) (fig. 28) une tige métallique isolée que l'on peut également charger, et dont on évalue le potentiel par l'attraction qu'elle produit sur l'aiguille d'une petite balance de torsion de Coulomb réunie à la masse.

L'appareil complet est monté élastiquement dans un boîtier métallique muni de fenêtres à glissières permettant d'effectuer toutes les opérations. L'ensemble, d'une excep-

tionnelle robustesse ne pèse que 1040 g. Une chute de quelques mètres sur de la neige durcie n'entraîne aucun changement dans ses caractéristiques.

d) Voici quel est dans les deux cas le principe des mesures : le récipient métallique étanche est rempli d'air dont on veut déterminer la teneur en radon. La pièce métallique centrale (électroscope ou tige) étant chargée, l'intensité du courant d'ionisation qui passe entre celle-ci et les parois du récipient représente, à un facteur près — déduction faite du courant dû à la radiation globale pénétrante (III, 24) — la teneur en radon de l'air étudié.

Il suffit donc de mesurer la vitesse de décroissance du potentiel de la pièce métallique centrale, ou, ce qui revient au même, le temps T que met ce potentiel à décroître d'une quantité donnée.

46. Procédés de prélèvement. — a) Pour les deux appareils dont je viens de parler, j'ai imaginé divers procédés de prélèvement, qui ont entre eux les points communs suivants :

L'air doit être aspiré à travers un tube desséchant et filtrant analogue à celui du dispositif enregistreur (V, 34) mais de beaucoup plus petites dimensions (longueur 30 cm., diamètre 2 cm. 5).

Lorsqu'on veut faire un prélèvement de l'air inclus sous la couche de neige, on commence par creuser la surface de celle-ci, jusqu'à ce qu'on puisse percer la couche jusqu'au sol avec un manche de piolet ou un bâton de ski. On place dans le trou ainsi obtenu le tube desséchant réuni à l'appareil par un tube en caoutchouc, et l'on tasse soigneusement la neige tout autour, de façon à éviter les rentrées d'air pur accidentelles.

b) Le procédé de prélèvement utilisé avec l'appareil à feuille d'or est un procédé de « lavage ». Il consiste à faire passer lentement l'air à étudier dans le récipient ; lorsque le volume d'air qui l'a traversé est bien supérieur à sa capacité,

10 fois par exemple, on peut admettre que l'air qu'il contient a la même teneur que l'air à étudier (fig. 19). La pression à l'intérieur du récipient est égale à la pression ambiante.

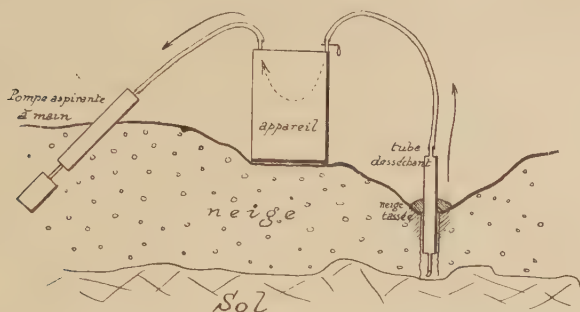


Fig. 19. — Disposition pour prélever l'air par la méthode de « lavage » (appareil à feuille d'or), sous la neige.

c) Pour l'autre appareil, j'ai employé deux procédés de prélèvement. Le premier découle du précédent : on effectue

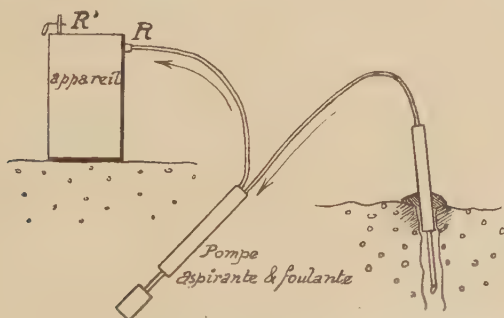


Fig. 20. — Disposition pour prélever l'air sous pression (appareil à « balance de Coulomb ») sous la neige.

le « lavage » de l'appareil en manœuvrant la pompe aspirante et foulante, et en laissant le robinet pointeau R' ouvert (fig. 20). Puis, celui-ci étant fermé, on gonfle l'appareil à la

pression normale d'utilisation, 2 000 g./cm². Le gonflement peut d'ailleurs être effectué à une pression supérieure, ramenée à 2000 g., 3 heures seulement avant la mesure.

Le second est plus rapide : l'appareil est « lavé » à l'air pur, puis gonflé à la pression de 1500 g. Cette opération peut se faire avant le prélèvement, dans un endroit abrité. L'air à étudier est ensuite ajouté à l'air pur, à la pression partielle de 500 g. au moyen de la même pompe à main. Cette façon d'opérer est très pratique pour les prélèvements effectués dans les conditions très pénibles que l'on rencontre fréquemment en haute montagne. Elle ne demande en effet que quelques secondes (fig. 20).

47. Procédés d'étalonnage. — *a)* Lorsqu'on vient de terminer le montage de l'appareil, il est bon de le « laver » avec de l'air pur, soigneusement desséché et filtré, et de laisser longuement stabiliser l'ionisation à l'intérieur du récipient, pendant 30 jours, par exemple ; pendant ce temps s'opère également la stabilisation des caractéristiques mécaniques de l'ensemble, et l'on a tous les loisirs de vérifier l'étanchéité du récipient, et d'y remédier s'il est nécessaire.

Lorsque tout est en parfait état, et lorsque l'intensité d'ionisation ne diminue plus on fait une série de mesures du temps *T* (45 *d*) dans les conditions d'utilisation de l'appareil. La moyenne donne le temps correspondant à la radiation globale pénétrante (¹).

b) Lorsque cette première série de mesures est terminée, on peut introduire dans le récipient de l'appareil à étalonner, une quantité connue de radon, par exemple au moyen d'un barboteur à solution étalon radifère (49). Trois heures après on fait une série de mesures, toujours dans les conditions

(¹) Les soins apportés à l'isolement des deux appareils sont tels qu'une correction de fuite est inutile, même dans ce cas (IX, 55).

d'utilisation de l'appareil. La moyenne de ces mesures correspond à la radiation globale pénétrante à laquelle s'ajoute le rayonnement propre du radon en équilibre.

c) Les deux séries de mesures (*a*, *b*), le nombre connu d'ions dû à la radiation globale pénétrante (nombre moyen 10 ions/cc/sec aux conditions normales locales, III, 25), la quantité connue de radon introduite dans le récipient, permettent de tracer une abaque bilogarithmique dont l'utilisation est très commode : de la mesure du temps *T* correspondant à la teneur en radon de l'échantillon d'air étudié, on déduit le nombre d'ions par centimètre cube et par seconde captés à l'intérieur du récipient. En retranchant de ce dernier le nombre correspondant à la radiation globale pénétrante, il suffit de multiplier le nombre ainsi obtenu par un facteur constant déduit de l'étalonnage (teneur en radon correspondant à 1 ion).

d) Cette méthode d'étalonnage est dangereuse à employer pour un appareil délicat (II, 15) qui serait définitivement hors d'usage par l'introduction d'une trace de radium élément.

Aussi, pour éviter la souillure accidentelle est-il bon d'étalonner l'appareil par comparaison avec un autre appareil étalonné directement. C'est ce que j'ai fait pour le deuxième dispositif à balance de torsion (45 c).

Voici comment je procède :

J'attends qu'une période de grande activité se présente à l'intérieur de l'habitation (19). Je choisis une pièce dont les issues ferment bien. J'y transporte les deux appareils, que j'emplis de l'air de la pièce, par la méthode de « lavage » aux pressions respectives normales d'utilisation (46 b, c). Je fais les mesures comme d'habitude, trois heures après le prélèvement, mesures d'où je déduis les caractéristiques de l'appareil à étalonner. Si l'expérience est recommencée plusieurs fois, la moyenne obtenue peut être d'une bonne précision.

48. Correction des mesures. — Toutes les mesures effectuées sur des échantillons d'air qui ont été prélevés dans des conditions différentes des conditions normales d'utilisation pour lesquelles l'appareil a été étalonné, donnent des résultats qui doivent être corrigés.

a) Cas de l'appareil à feuille d'or, où la pression d'air est égale à la pression ambiante (46 b) :

La quantité totale de radon R contenu dans le récipient de mesure qui a été empli d'air actif prélevé aux conditions de pression et de température p , T (température absolue) est :

$$R = k \frac{p}{T}$$

où k est une constante.

La teneur en radon mesurée sera :

$$E = \frac{R}{V} = \frac{kp}{VT} = k' \frac{p}{T}$$

qui, ramenée aux conditions normales p_0 , T_0 devient :

$$E_0 = k' \frac{p_0}{T_0} \quad \text{et} \quad E_0 = E \frac{p_0 T}{p T_0}. \quad (1)$$

Cette correction ne suffit pas ; en effet l'appareil a été étalonné en curie, la pression et la température de l'air contenu dans le récipient ayant leur valeur normale locale (540 mm. + 15° C.). Pour des conditions voisines, on peut étendre la formule de correction donnée par Mme Curie pour les conditions normales (23), 760 mm. + 15° C. :

Correction à ajouter :

$$\varepsilon = E \left[0,0007 \frac{76}{54} (540 - p) + 0,002 (t - 15) \right]$$

p étant exprimé en mm. de mercure, t en degrés centigrades ; avec la formule (1) on a :

$$E_0 = E \left[1 + \left[0,0007 \frac{76}{54} (540 - p) + 0,002 (t - 15) \right] \cdot \frac{540 (t + 273)}{p \cdot 288} \right].$$

b) Cas de l'appareil à balance de Coulomb, où la pression d'air est de 2000 g. cm² (46 c) :

Dans les procédés de prélèvement que j'utilise avec cet appareil, j'ai supposé que la pression finale à l'intérieur du récipient était constante, parce que la température à laquelle on fait les mesures reste toujours voisine de la température normale + 15°C., à laquelle l'appareil a été étalonné. Pour des températures très différentes, il y a lieu d'adopter une pression finale corrigée (*) (pression proportionnelle à la température absolue).

Soit alors E la teneur mesurée pour un échantillon d'air prélevé aux conditions de pression et de température p, t ; la teneur rapportée aux conditions normales adoptées pour l'étalonnage de l'appareil sera donnée par la formule (1) :

$$E_0 = E \frac{540 (t + 273)}{p \cdot 288}.$$

49. — Etalonnage par la méthode des barboteurs. — La méthode des barboteurs, décrite dans tous les traités classiques (24), est utilisée toutes les fois qu'on désire étalonner directement un appareil en curie. Comme j'ai employé quelques artifices particuliers, je décrirai succinctement ma façon d'opérer.

Le sel étalon radifère (2) est préparé par les chimistes de l'Institut du radium, malheureusement sa teneur en radium-élément,

5,60 10⁻⁷ gramme par gramme (25)



Fig. 21. — Barboteur en verre scellé.

(*) Cette correction est plus difficile à appliquer dans le cas du second procédé de prélèvement ; aussi, la précision obtenue est moins bonne.

(2) Carbonate de baryum chimiquement pur, radifère. Mlle Chammie a eu l'amabilité de me procurer quelques décigrammes de ce sel.

est 10 à 100 fois trop forte ⁽¹⁾ pour que je puisse en utiliser directement une quantité mesurable avec précision, 0,1 g. Il convient donc de fractionner cette quantité.

a) Barboteurs : en verre Pyrex travaillé au chalumeau oxy-acétylénique. Forme nouvelle facilitant leur fabrication ; capacité 15 cm³ (fig. 21).

b) La balance que j'utilise pour les pesées, *la meilleure de toutes celles dont je dispose*, est en très mauvais état : couteau

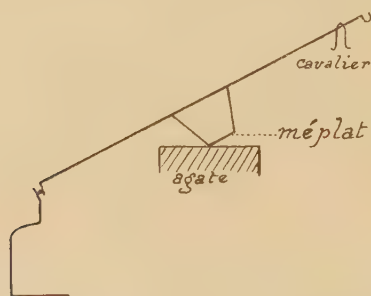


Fig. 22. — Artifice pour utiliser une vieille balance.

usé en forme de méplat. Un artifice très simple me permet, malgré tout, de faire des pesées à

$$\frac{1}{300} \text{ près}$$

sur une masse de 1 dg. : pour éliminer les perturbations causées par le méplat, il suffit de faire travailler le fléau de travers (fig. 22).

c) Dissolution : il est absolument nécessaire d'utiliser des produits parfaitement purs : acide chlorhydrique chimiquement pur ⁽²⁾ que l'on distille une, deux et même trois fois au

⁽¹⁾ Elle a été choisie de façon à étalonner facilement les appareils destinés à l'étude du gaz des griffons de source (I, 8).

⁽²⁾ Mlle Aitoff m'a procuré un échantillon d'acide chimiquement pur. Qu'elle veuille bien trouver ici mes remerciements.

dernier moment ; eau bidistillée (eau de neige distillée). En effet les moindres impuretés provoqueraient un trouble de la solution radifère, cause d'erreurs qui peuvent devenir considérables, le radon étant retenu par occlusion dans les particules solides du précipité.

d) Fractionnement : le sel, pesé sur deux lamelles de verre superposées est introduit au fond d'un ballon de 500 cm³ environ ; cette opération doit se faire sans qu'aucune trace de sel ne vienne se répandre sur les parois du ballon (fig. 23).

Le sel est ensuite humecté puis dissout lentement, en évitant les éclaboussures à l'intérieur du ballon. Celui-ci ayant

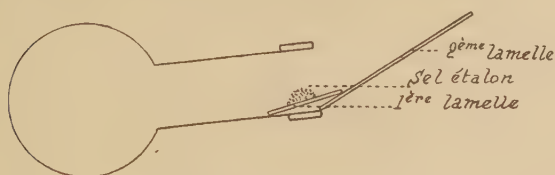


Fig. 23. — Manière d'introduire le sel radifère au fond du ballon.

été taré au millième ⁽¹⁾, on ajoute de l'eau légèrement acidulée de façon à avoir une masse totale de solution également connue au millième, 200 g. par exemple. Cette solution, stabilisée une dizaine d'heures, peut servir à emplir les barboteurs étalons de petite capacité.

e) Un autre procédé consiste à préparer un barboteur avec tout le sel pesé (0 g. 1). Le radon accumulé est recueilli dans un ballon de 500 cm³ jaugé au millième, dans lequel on a, au préalable fait le vide. Le ballon est ensuite fermé à la lampe. Après un certain temps, au minimum quelques heures, pendant lequel le mélange gazeux a pu se stabiliser dans le ballon, et le radon se détruire partiellement, on prélève une

(1) Les balances « Roberval » d'épicier sont excellentes pour cela lorsqu'elles sont neuves.

fraction de ce mélange que l'on envoie dans l'appareil à étalonner.

Ce mode opératoire est peu précis : il est en effet difficile d'évaluer exactement la fraction prélevée, à cause des perturbations apportées par le volume des tubulures, et par l'adsorption du radon par les parois de verre.

f) Exemples de pesées :

TABLEAU XI

I	II
A : 0,10004 gr. à $\pm 0,00004$	0,10000 gr. à $\pm 0,00004$
B : 400,3 gr. à $\pm 0,1$	200,2 gr. à $\pm 0,1$
C : 2,0028 gr. à $\pm 0,0102$	1,9950 gr. à $\pm 0,0005$
D : $2.8029.10^{-10}$ gr. à $\pm \frac{1,1}{1\ 000}$	$5,5800.10^{-10}$ gr. à $\pm \frac{1,1}{1\ 000}$
A : Pesée de sel radifère corrigée ⁽¹⁾ . B : Pesée de la solution du ballon, corrigée. C : Pesée de la solution du barboteur, corrigée. D : Masse de Radium-Elément contenue dans le barboteur. (1) Correction de poussée dans les conditions normales locales.	

CHAPITRE IX

Appareils portatifs pour la mesure des faibles teneurs en radon.

50. Appareil à feuille d'or. — Bien que cet appareil ait été décrit dans un mémoire antécédent (13), je répéterai ici ses caractéristiques essentielles :

a) Récipient étanche en zinc commercial de 0 mm. 5

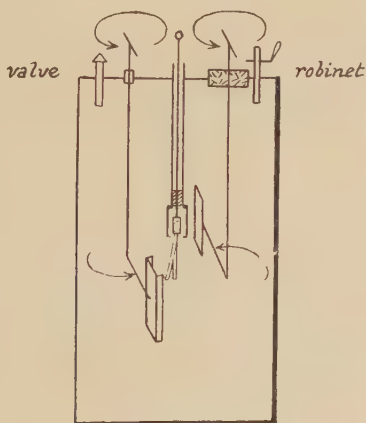


Fig. 24. — Schéma de l'appareil d'ionisation à feuille d'or.

d'épaisseur ; volume 2900 cm³. Sur la partie supérieure : robinet pointeau avec bout d'attente recevant la tubulure d'admission ; valve ⁽¹⁾ d'admission recevant la tubulure de la pompe aspirante (figure 19).

(¹) Les valves « Schrader » suffisent lorsqu'elles sont bien réglées.

b) Electroscope : lampe support de feuille d'or de 40×1 mm. 5. Feuille d'or de 35×1 mm., d'épaisseur $0,05 \mu$ (figure 24). Système de protection par gouttière, qui permet également de charger l'électroscope.

c) Observation de la feuille d'or par un microscope coudé incorporé dans l'appareil, muni d'un micromètre oculaire.

d) Un petit récipient monté sur un joint en caoutchouc peut être garni de desséchant (Sodium).

Je consacre le paragraphe suivant à décrire avec quelques détails la technique employée pour le montage de la feuille d'or.

51. Montage de la feuille d'or. — a) On découpe une série de bandelettes dans un carnet de doreur, au moyen d'une lame de rasoir neuve, et l'on sélectionne celles dont la tranche n'a ni bavure ni cornière.

b) On prépare sur une lame de verre un mélange de colle à la gomme arabique et de glycérine (10 à 30 o/o). Ce mélange doit être additionné d'eau, s'il est trop visqueux.

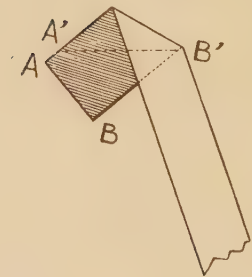


Fig. 25. — Préparation d'une spatule pour coller la feuille d'or.

c) On prépare une « spatule » en papier blanc de quelques millimètres de large sur 50 mm. de long. On en coude, à angle droit, une extrémité, sur 2 à 3 mm., l'arête de l'angle étant oblique, puis l'on recoupe la tranche AB suivant A'B' (figure 25), qui servira à porter un trait de colle sur la lame support de feuille d'or.

d) Le trait de colle doit être très léger et tracé perpendiculairement à la grande dimension de la lame; l'obliquité du coude de la « spatule » permet d'effectuer cette opération sans difficulté (figure 26).

Il faut recommencer l'opération, après avoir lavé à l'eau, à

l'alcool, puis à l'éther, la lame, si le trait est oblique ou empâté : la feuille d'or dévierait mal, et risquerait de se déchirer.

e) La bandelette d'or, saisie au moyen de pinces brucelles par l'extrémité qui doit être collée, est apportée sur la lame qui a été disposée horizontalement à l'abri des courants d'air.

On la laisse « couler » bien verticalement, en commençant par l'extrémité de la lame opposée au trait de colle, jusqu'à ce qu'elle vienne y adhérer (figure 27). On tire

alors sur la pince d'un mouvement contraire pour sectionner la bandelette d'or au niveau du trait, et l'on recoupe son extrémité libre en la déchirant sur le tranchant d'une lame de rasoir.

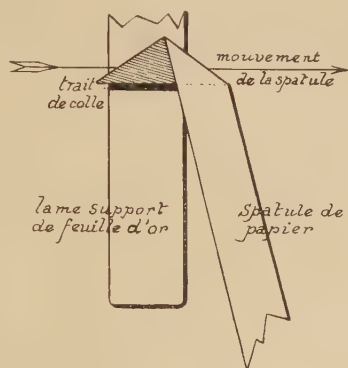


Fig. 26. — Manière d'opérer pour tracer le trait de colle.

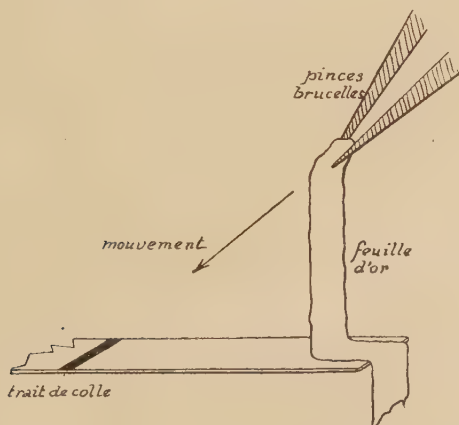


Fig. 27. — Manière de placer correctement la feuille d'or.

f) Cette méthode permet d'obtenir des électroscopes où la feuille d'or, de très petites dimensions, dévie correctement. Une des précautions les plus importantes consiste à polir « optiquement » la lame support de feuille d'or, à abattre ses arêtes, et à la nettoyer, avant le montage, à l'éther et à la gaze pharmaceutique, car la moindre trace d'impureté provoque un collage accidentel et souvent irrémédiable de la feuille d'or.

52. Appareil à balance de Coulomb (photographie V). — Une

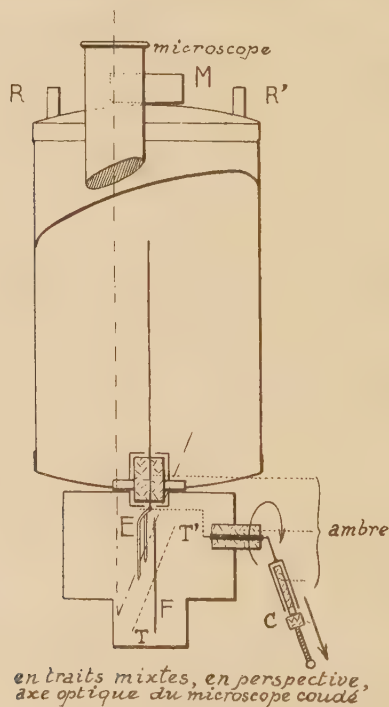


Fig. 28. — Schéma de l'appareil d'ionisation à « balance de Coulomb ».

description de cet appareil a été donnée également dans un autre mémoire (26). En voici un résumé succinct.

a) Récipient cylindrique en fer blanc agrafé, rivé et soudé ; épaisseur 0 mm. 2. Volume 500 cm³. Manomètre M, robinet et valve R, R' (figure 28). Le dispositif électrométrique est monté dans un boîtier séparé. Le récipient et le boîtier sont desséchés par deux petits tubes garnis de sodium.

b) L'aiguille F de la petite balance de torsion de Coulomb est attirée par la pièce E fixée à l'extrémité extérieure de la tige métallique chargée (45 c). La forme de cette pièce, déduite de l'expérience, est telle que l'extrémité de l'aiguille F se déplace, dans le champ du microscope d'observation, proportionnellement à la perte de charge de la tige métallique.

c) L'ensemble de la pièce E et de la tige métallique peut être chargé d'électricité par un système C à piston d'ambre, incorporé dans le boîtier extérieur (45 c).

53. Montage de l'aiguille. — A. La première description (26) de cet appareil se rapportait à un montage de l'aiguille que j'ai abandonné. Ce montage m'a toutefois permis de mettre en évidence ce que j'appelle « l'effet bilame », qui est un défaut très général.

Supposons qu'une aiguille métallique soit suspendue par son centre de gravité, à un fil de torsion tendu sur un archet. Lorsque le fil est horizontal et l'aiguille verticale, une torsion de celle-ci dans le plan perpendiculaire au fil amène un déplacement de son centre de gravité (figure 29).

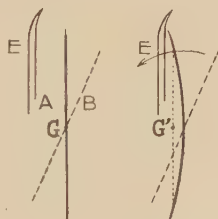


Fig. 29. — Torsion de l'aiguille d'un électromètre sous l'influence d'une variation de température : déplacement du centre de gravité.

Il s'ensuit que l'aiguille tourne d'un certain angle, qui est d'autant plus grand que le gradient du couple électrostatique auquel est soumis l'aiguille à l'équilibre, dans un montage d'électromètre, est plus grand.

En particulier, lorsque l'aiguille est au voisinage de l'équilibre instable, le moindre déplacement du centre de gravité suffit à faire tourner l'aiguille d'un angle très grand, et à modifier considérablement sa sensibilité.

Supposons maintenant que les coefficients de dilatation linéaire des deux côtés A et B (figure 29) de l'aiguille soient différents l'un de l'autre : une variation de température se traduira par une torsion de l'aiguille, avec toutes ses conséquences : c'est l'« effet bilame ». Cet effet peut être amplifié par l'emploi d'une aiguille bimétallique, placée dans un champ électrique convenable, et le montage peut alors servir à déceler de très faibles variations de température ⁽¹⁾.



Fig. 30. — Manière d'emboutir en double cornière une feuille d'aluminium de $1\ \mu$ d'épaisseur.

Le premier montage que j'ai effectué comportait comme aiguille une lame en bronze phosphoreux de 53 mm. de long, 100 et 200 μ de large, 5 et 15 μ d'épaisseur, respectivement aux extrémités et au centre, soudée perpendiculairement au milieu d'un fil de torsion de 51 mm. de long et 15 μ de diamètre.

Dans les conditions électrostatiques d'utilisation, cette aiguille se déplaçait de plusieurs divisions micrométriques pour une variation de température de 1°C .

B. Voici la technique de fabrication d'une aiguille exempte de l'« effet bilame » :

(1) Je n'ai pas étudié la limite à laquelle on peut descendre. Elle doit être très petite. D'un autre côté, j'ai étudié les « Lindemann » (III) du commerce, qui, malgré leur métallisation cathodique, présentent aussi, à un degré moindre, « l'effet bilame ».

a) On taille au rasoir une bande d'aluminium de 6 mm. de large, 60 mm. de long, dans un carnet de feuilles de $1\ \mu$ d'épaisseur.

b) Cette bande est emboutie en forme de double cornière, par compression sur une pile d'étoffe fine, au moyen d'une carre métallique de 2 mm. d'épaisseur (figure 30).

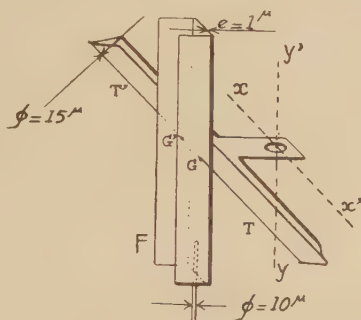


Fig. 31. — Montage de l'aiguille en cornière sur le fil de torsion et l'archet.

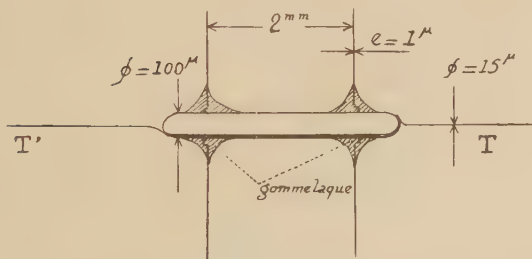


Fig. 32. — Détails de fixation de l'aiguille en cornière sur le fil de torsion.

c) La double cornière de 2 mm. de côté est recoupée à 53 mm. de longueur, et percée de deux petits trous, suivant son axe de gravité GG' , destinés à laisser passer le fil de torsion (figure 31).

d) Le fil de torsion TT' en bronze silicieux a 50 mm. de long, $15\ \mu$ de diamètre. Il est soudé, après avoir été passé

dans les trous GG' de la double cornière, sur un archet en bronze, orientable suivant deux axes xx' , yy' .

Au milieu du fil est soudé un renforcement de $100\ \mu$ de diamètre sur lequel l'aiguille d'aluminium est sertie. Le sertissage est bloqué à la gomme-laque (figure 32).

e) Une des extrémités de la double cornière reçoit un index de $10\ \mu$ de diamètre, destiné à faciliter les visées au microscope.

Lorsque le montage de l'aiguille est terminé, il ne reste plus qu'à placer l'archet dans le boîtier adéquat, et à effectuer les réglages.

54. Réglages. — a) Le premier réglage consiste à amener exactement le centre de gravité de l'aiguille sur l'axe du fil de torsion. Pour cela on recoupe par tâtonnements successifs

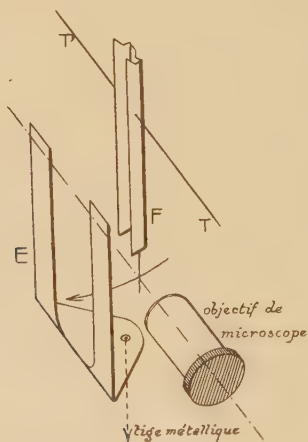


Fig. 33. — Schéma d'ensemble de l'électromètre à « balance de Coulomb ».

l'une des extrémités de l'aiguille, jusqu'à ce que sa position d'équilibre soit indépendante de son orientation.

b) Ensuite, la pièce E, taillée d'après les résultats d'un

calcul très approximatif, est placée à l'extrémité de la tige métallique (figure 28), et l'on porte celle-ci au potentiel d'utilisation (60 à 90 volts, selon la sensibilité désirée). On fait alors tourner l'archet autour de son axe xx' parallèle au fil de torsion, de telle sorte que, l'aiguille étant attirée, son index vienne se placer à l'entrée du champ du microscope d'observation (figure 33).

c) On fait alors une série de mesures (45 d), le récipient étant plein d'air actif stabilisé.

On trace la courbe vitesse-élongation de l'index.

Dans la plupart des cas, la vitesse décroît quand l'élongation augmente, c'est-à-dire quand l'aiguille s'éloigne de la pièce E.

Il faut alors augmenter l'écartement des plateaux de cette pièce, et éloigner celle-ci de l'axe optique du microscope.

Lorsque les vitesses de l'index sont identiques aux deux extrémités de l'échelle micrométrique du microscope d'observation, on peut considérer le réglage comme terminé.

Cette mise au point est longue et délicate. Je ne crois pas qu'on puisse la remplacer par un calcul exact de la forme de la pièce E.

Le réglage que j'ai adopté définitivement sur mon appareil donne un écart maximum de 3,5 o/o sur l'échelle linéaire. Le potentiel initial, lorsque l'index est à la division O du micromètre est 87,5 volts ; le potentiel final, lorsque l'index est à la division 100, 80, 0 volts.

Enfin l'appareil est étalonné en curie par comparaison avec le précédent (47 d).

55. Comparaison de l'appareil enregistreur (V) et des deux appareils portatifs. — J'ai réuni, pour mémoire, les caractéristiques de trois appareils dans le tableau qui suit, les deux appareils portatifs ayant été emplis par la méthode de « lavage » (46 b, c). Les nombres d'ions captés dans ces derniers, pour la teneur en radon de l'air prélevé, de 62.10^{-11}

curie par litre aux conditions normales locales, ont été déduits du nombre d'ions produit par la radiation globale pénétrante, dans l'air aux mêmes conditions, supposé constant et égal à 10 (III).

TABLEAU XII

Appareil	Enregistreur	Feuille d'or	Balance de Coulomb
Volume	22,7 lit.	3 lit.	0,5 lit.
Pression.	ambiante : 540 mm. de mercure		2 000 gr./cm ²
<i>Radiation pénétrante :</i>			
Nombre d'ions produits dans le récipient par cm ³ et par seconde. .	10	10	27
Elongation	0,30 mm.	10 d. m.	10 d. m.
Temps de passage pour cette elongation . .	22,6 s.	45 m.	14 m.
<i>Teneur de l'air prélevé de 62.10⁻¹¹ curie par litre, à 540 mm. + 15° C :</i>			
Nombre d'ions captés dans le récipient par cm ³ et par seconde .	4 100	3 860	9 870
Elongation	125 mm.	10 d. m.	10 d. m.
Temps de passage pour cette elongation . .	22,6 s.	7 s.	2,3 s.

Des mesures faites avec le deuxième appareil portatif, aux pressions absolues de 2 000 gr./cm² et 735 gr./cm² (pression

locale atmosphérique) ont montré que le nombre d'ions dus à la radiation pénétrante globale, était sensiblement proportionnel à la pression ⁽¹⁾.

Le tableau XII met en évidence la supériorité de l'appareil à balance de Coulomb. Cependant, pour obtenir la même précision « statistique » qu'avec l'appareil à feuille d'or, il faudra faire un plus grand nombre de mesures (II, 10).

Le nombre d'ions 9 870 est capté à la pression d'utilisation de 2 000 gr./cm². Si la teneur en radon de 62.10⁻¹⁴ curie était rapportée à 1 litre à cette pression, on aurait un nombre d'ions de :

$$9\,870 \cdot \frac{2\,000}{735} = 3\,650 \text{ ions}$$

ce nombre légèrement plus faible que celui qui correspond à l'appareil à feuille d'or, met en évidence le manque de saturation (V, 38) et l'effet du faible volume du récipient (V, 38 c).

L'augmentation de la pression sous laquelle fonctionne l'appareil n'a donc comme avantage que d'accroître la quantité totale de radon contenu dans le récipient de mesure.

(¹) Ces mesures prouvent que le courant de fuite d'isolant, dans ce deuxième appareil est négligeable vis-à-vis du courant d'ionisation dû à la radiation globale pénétrante (II, 11).

Légendes de la Planche V :

Photographie V : L'appareil d'ionisation
à « balance de Coulomb » sorti de son boîtier d'utilisation.

Photographie VI : Tente à l'abri de laquelle les mesures
d'échantillons d'air prélevés dans le voisinage seront faites.

CHAPITRE X

Mesures avec les appareils portatifs.

56. Activité de l'air libre. — Les premiers résultats issus de mesures très nombreuses effectuées sur l'air, à l'intérieur de l'Observatoire (IV, 28), montrent tous que l'activité peut devenir considérable, pendant la période des neiges (19) et que l'aération des pièces n'en change guère la valeur. J'ai dû admettre, en conséquence, que le dégagement de radon était considérable.

C'est alors que j'ai prélevé de l'air à l'extérieur, à quelques mètres au-dessus de la surface de la neige, en des points répartis sur une surface de crête ⁽¹⁾ de 2 000 m² environ, et que j'en ai mesuré la teneur en radon.

Les premiers résultats, déjà publiés (22), s'accordent avec d'autres obtenus plus tard ; ils sont résumés dans le tableau XIII.

Les teneurs maxima sont observées par tourmente de neige, lorsque le vent souffle de NW ; elles peuvent dépasser :

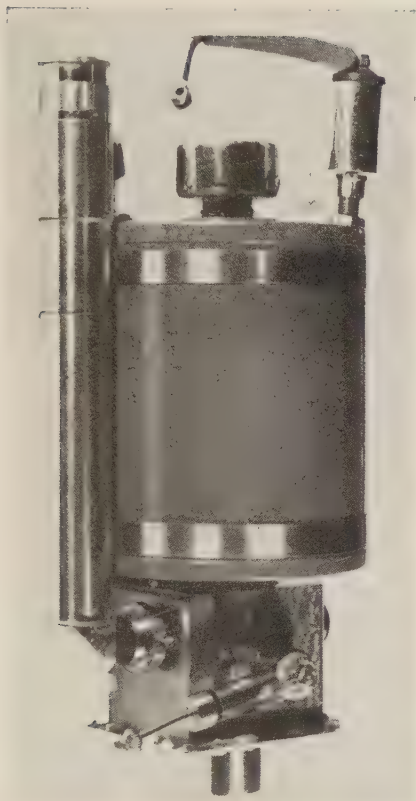
$$0,015 \cdot 10^{-9} \text{ curie par litre,}$$

ce qui est considérable.

Au contraire par beau temps cette teneur peut tomber à une valeur 100 fois plus faible.

57. Activité de l'air sous la neige. — Des mesures ont été faites en grand nombre et en toutes conditions avec les deux appareils portatifs.

(1) Crête sur laquelle est construit l'Observatoire.



Photographie V
(voir légende
page 69).



Photographie VI (voir légende page 69).

TABLEAU XIII

Epoque	Teneur en 10^{-9} c/lit.	Vent	Temps
2 Février 1934 . .	0,014	NW à NE 3	Tourmente à beau
2 — — . .	0,015	—	—
6 — — . .	0,00014	NE 3	Ciel pur
9 Novembre 1934 .	0,002	SW 8	Ciel couvert
12 — — . .	0,0055	NW 5	Tourmente
3 Février 1935. .	0,0029	NE 9	Beau
22 — — . .	0,002	NW 6	Grosse tourmente
28 — — . .	0,02 à		
4 Mars 1935 . .	0,0012	NE 8 NW 2	Beau
5 — — . .			
6 — — . .			

La teneur en radon la plus élevée qui ait été observée pour le Pic et ses environs est :

$0,744 \cdot 10^{-9}$ curie par litre, mesurée aux conditions locales :
540 mm. + 15° C.

Je l'ai déjà signalé (22). La mesure a été faite avec l'appareil à feuille d'or (IX, 50). L'air a été prélevé, par la méthode de « lavage » (VIII, 46 b), le 15 janvier 1934 à 16 heures, sur le flanc NE du Pic Costallat (1), sous une couche de neige de plusieurs mètres. L'opération s'est effectuée dans des conditions très pénibles, en pleine tourmente. Afin de lever les doutes au sujet de cette mesure, j'ai étudié au laboratoire la période de l'activité (II, 14) et j'ai trouvé une valeur voisine de 4 jours.

Dans les environs immédiats du Pic, les plus fortes teneurs, comprises entre 0,1 et $0,6 \cdot 10^{-9}$ curie/litre, ont été trouvés sur le flanc Sud terminal (A) (figure 34) par vent de NW ; les plus faibles, $0,001 \cdot 10^{-9}$ environ, par vent de NE à SW.

(1) Le Pic Costallat, qui domine l'hostellerie de Sencours, est à 750 m. environ au Sud du Pic du Midi.

C'est le contraire qui se passe sur le flanc Est de la crête Est du Pic du Midi (B) (fig. 34) : la teneur maxima, $0,1$ à $0,3 \cdot 10^{-9}$ se présente par le vent de NE ; la teneur minima, $0,005 \cdot 10^{-9}$, par vent de S à NW.

Ces résultats sont en accord avec ceux que j'ai obtenus par l'enregistrement au laboratoire (VI, VII) : pour le Pic pro-

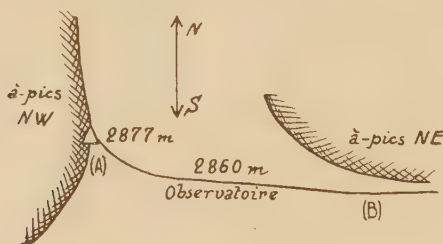


Fig. 34. — Croquis schématique des crêtes du Pic du Midi.

prement dit, la face la plus abrupte et par conséquent la moins enneigée est précisément la face NW ; pour la crête Est, c'est la face NE.

58. Mesures dans le massif du Canigou ⁽¹⁾. — A défaut de mesures très générales et très étendues, comme j'avais l'intention d'en faire ⁽²⁾, j'ai recherché un massif facilement

⁽¹⁾ Massif du pic qui porte le même nom. Altitude 2785 m. (Pyrénées-Orientales).

⁽²⁾ J'avais étudié à l'Observatoire un matériel complet de « camping » très particulier, pouvant résister aux très fortes tempêtes de neige ; le matériel complet en sac, avec appareils de mesure et nourriture pour quelques jours ne pesait que 28 kg., ce qui me permettait de faire seul des randonnées de 48 heures et plus.

Voici l'énumération des accessoires, avec leur poids en kilogrammes :

Sac : 1,5. Crampons : 1,0. Canadienne : 2,5. Combinaison-sac : 2,5. Baro-thermo-chronomètre : 0,5. Appareil à radon : 1,2. Tente : 5,0. Sac de couchage : 4,5. Réchaud : 1,0. Boisson : 4,0. Nourriture : 2,0. Lainages : 1,5. Accessoires divers (piles carnet, crayon, etc.) : 0,5.

accessible où, grâce à la configuration du terrain, je puisse faire une vérification facile de l'action prédominante des vents.

J'ai finalement choisi le Canigou : la crête de celui-ci et celle du Puig Barbet forment dans leur ensemble un V arrondi ouvert vers le Nord (fig. 35) dont l'altitude est comprise entre 2 785 m. et 2 700 m. L'intérieur du V est abrupt et peu enneigé, l'extérieur, de pente plus faible est recouvert de neige.

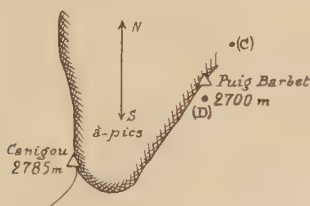


Fig. 35. — Croquis schématique des crêtes du Canigou.

J'ai pu faire au cours d'une randonnée de trois jours, deux prélèvements aux points (C) et (D) (fig. 35), sous la couche de neige qui atteignait plusieurs mètres, d'échantillons d'air pour lesquels la mesure de teneur en radon m'a donné :

point (C) : $0,1.10^{-9}$ curie-litre (à 540 mm. et $+15^{\circ}$ C.)

point (D) : $0,70.10^{-9}$ curie-litre (à 540 mm. et $+15^{\circ}$ C.)

Ces deux prélèvements ont été effectués par vent de NW, en pleine tourmente de neige ⁽¹⁾.

Ils montrent l'action prédominante des vents (face NW abrupte et déneigée).

59. Interprétation. — Les résultats obtenus au cours de mesures faites à l'extérieur et au laboratoire, permettent

⁽¹⁾ Température — 11° C. Chute de neige pendant les 24 heures qui précèdent les prélèvements. Tourmente de neige volante : brouillard s'éclaircissant.

d'affirmer que la neige joue le rôle de couche « semi-imperméable ». Le radon formé à l'intérieur du sol s'accumule sous l'enneigement des pentes et se dégage dans l'atmosphère, toutes les fois que le vent souffle sur la face la plus abrupte et la moins enneigée de la montagne.

Le dégagement du radon ainsi accumulé peut devenir très abondant ; il se fait à travers les fissures des rochers déneigés, ou bien à travers la couche de neige, dans la direction opposée à celle d'où souffle le vent.

Supposons qu'il n'y ait aucun dégagement de radon en dehors de la surface explorée de $2\,000\text{ m}^2$, sur la crête du

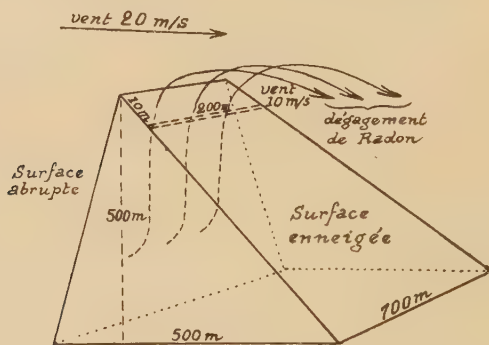


Fig. 36. — Figure théorique du dégagement de radon par la crête de la montagne.

Pic du Midi (56) (fig. 36) et admettons que le dégagement ait pour effet d'entretenir une teneur constante de l'air, de $0,01 \cdot 10^{-9}$ curie par litre environ (56), la vitesse de cet air, aux points où les mesures ont été faites, étant supposée uniforme, normale à la surface et égale à 10 m./sec.

Ces valeurs sont, en réalité, sous-estimées.

On peut écrire :

Dégagement de radon $= 2 \cdot 10^{-4}$ curie/seconde,

ou :

$0,72$ curie/heure.

ce qui est, à peu près, la production horaire d'une masse de radium de 100 g.

Si j'admets que la teneur en radium-élément des roches est normale :

$$1 \text{ à } 1,5.10^{-12} \text{ g./g.}$$

un calcul simple montre que tout le radon dégagé par la crête provient d'une masse considérable de roches, certainement très supérieure à :

$$10^8 \text{ tonnes,}$$

ce qui représente à peu près, pour le Pic du Midi, la masse terminale de la montagne sur une hauteur supérieure à 500 mètres.

60. Remarques. — *a)* Des mesures plus étendues devraient être entreprises en différents massifs montagneux. Il faudrait également faire des mesures dans les régions polaires, ou, plus simplement, dans des plaines où la neige s'accumule pendant plusieurs mois de l'année.

La méthode que l'on emploierait serait celle que j'ai déjà utilisée à maintes reprises : la tente étant soigneusement installée sur une petite surface horizontale de neige tassée, de préférence dans un endroit abrité (photographie VI) on peut opérer une série de prélèvements en divers points du voisinage, et rapporter chaque fois l'appareil pour n'effectuer les mesures que sous la tente, dans les meilleures conditions possibles.

b) On pourrait également procéder de façon plus rapide : il suffirait d'explorer, en avion, l'atmosphère dans le voisinage immédiat des pics élevés.

Une série de récipients de 1 litre, métalliques, préalablement vidés d'air, peuvent être emplis très rapidement sur un parcours très réduit de l'avion.

L'air recueilli dans ces récipients est étudié au sol, au moyen de l'appareil à radon.

L'avantage de cette méthode est la rapidité ; il est facile, de plus, d'observer la configuration de l'enneigement des crêtes et des pics.

Malheureusement, ces explorations ne peuvent être faites que par beau temps, et le vent les rend dangereuses.

CONCLUSIONS

I. — Toutes les expériences que je viens de décrire ont consisté, en somme, à démontrer que le radon ne se dégage pas normalement des fissures de la montagne enneigée, comme il le ferait en l'absence de neige.

Les conséquences de ce fait sont les suivantes :

a) L'atmosphère de l'habitation de l'observatoire du Pic du Midi devient très riche en radon à l'époque des neiges (quelques dixièmes de millimicrocurie par litre).

b) Il en est de même de l'air inclus entre la couche de neige et le sol (près de 1 millimicrocurie par litre).

c) La radiation globale pénétrante augmente (radiation radioactive quadruplée).

d) Sous les influences aérodynamiques, le radon accumulé sous la neige, et qui a son origine dans un volume considérable de roches, se dégage par des surfaces très restreintes de crête.

e) Enfin, lorsque en juillet les neiges fondent, les derniers « accidents radioactifs » diminuent d'amplitude, pour disparaître, lorsque la montagne est entièrement libérée.

II. — Ces conséquences peuvent être rapprochées des résultats antécédents (chapitre I).

a) En l'absence de vent, le radon s'accumule sous la neige et se détruit spontanément. Si le vent se met à souffler, il extrait le radon et le transporte au loin, dans des régions où l'air devient anormalement actif (Mesures de Deodhar dans les Indes, 12).

b) L'air est très pauvre en radon par beau temps sans vent au-dessus de montagnes enneigées. Il en est de même pour les régions polaires (Mesures au Spitzberg, 10).

c) J'ai trouvé que sous l'influence du vent, la surface restreinte de la crête dégageait environ (59) :

$$10^{-14} \text{ curie par cm}^2 \text{ et par sec.}$$

D'autre part, V. P. Réginald Zupancic (6) a donné comme dégagement moyen normal sur un sol de plaine :

$$23.10^{-15} \text{ curie par cm}^2 \text{ et par sec.}$$

soit à peu près 450 fois moins.

Si la teneur en radium des roches, si les conditions aérodynamiques à l'intérieur de la montagne sont à peu près les mêmes qu'à l'intérieur d'un sol de plaine, et si l'on néglige la destruction spontanée du radon, on peut déduire, des données précédentes, que le dégagement de la crête devrait se faire, pour être normal, sur une surface de :

$$2\,000 \times 450 \approx 1\,000\,000 \text{ m}^2.$$

qui est précisément l'ordre de grandeur de la surface de base de la masse terminale de la montagne, telle que je l'ai considérée (59) (figure 36).

III. — Pour toutes ces raisons, le phénomène découvert au Pic du Midi, semble devoir être très général. Les teneurs en radon mesurées dans les conditions que j'ai exposées ont été retrouvées dans les environs du Pic et dans le massif du Canigou.

Peut-être trouverait-on, pour des massifs exceptionnellement plus riches en radium, des valeurs plus élevées.

BIBLIOGRAPHIE

Références :

1. HUBERT GARRIGUE. — Conductibilité anormale en courant continu de liquides purs. *Journal de Physique* [7], **3** (1932), p. 248 à 263.
2. GEITEL. — *Phys. Zeit.* (1900).
3. FLEMMING. — *Phys. Zeit.* (1908).
4. GOCKEL. — *Phys. Zeit.* (1907) (mesures en ballon).
5. ELSTER et GEITEL. — *Phys. Zeit.* (1904).
6. V. P. RÉGINALD ZUPANCIC. — *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity*, **39**, mars 1934, 33.
7. ROY. — *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris*, **7** (1929), 137.
8. A. LOMAKINE. — *Bull. Inst. géogr. Léninegrad* (1927), 3.
9. WIGAND. — *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity* (1925), 34.
10. F. BEHONNEK. — *Journal de Physique* (1927), 161.
11. MAUGHLY. — *Carnegie Inst. Research of the department of terr. magn.*, n° 175, vol. 5, 416.
12. DEODHAR. — *Proc. Royal Soc.* (1925), 109-280.
13. HUBERT GARRIGUE. — Deux électromètres pour la radiation faiblement pénétrante. *66e Congrès des Sociétés Savantes*, **79**, Toulouse (1933), 431 à 444.
14. HUBERT GARRIGUE. — La radiation faiblement pénétrante à l'Observatoire du Pic du Midi. *Comptes rendus*, **198** (1934), 764.
15. MILLIKAN et BOWEN. — *Phys. Rev.*, **27** (1926), 353.
16. MILLIKAN et CAMERON. — *Phys. Rev.*, **32** (1928), 533.
17. J. CLAY. — *Verlag Akad. Wetenschappen Amsterdam*, **30** (1927), 1115 et 1928, **31**, 1091.
18. THOMAS H. JOHNSON. — *Journal of Franklin Inst.* (1932), 214, 2106.
19. HUBERT GARRIGUE. — Radioactivité de l'air de l'habitation de l'Observation du Pic du Midi. *Comptes rendus*, **198** (1934), 494.

20. Mme CURIE. — Traité de radioactivité (1910), 21 et 212.
 21. DUANE LABORDE. — Mesures quantitatives de l'émanation du radium. *Le Radium*, 7 (1910), 162.
 22. HUBERT GARRIGUE. — Radioactivité de l'air en montagne. *Comptes rendus*, 200 (1935), 414.
 23. Mme CURIE. — *Ibid.*, 287.
 24. MAURICE CURIE. — Le radium et les radioéléments (1925).
 25. YVANOVITCH et Mlle CHAMIE. — Préparation d'un sel étalon radifère. *Comptes rendus* (1922).
 26. HUBERT GARRIGUE. — Nouvel appareil très portatif pour la mesure de faibles teneurs en radon. *Journal de Physique*, 7, (1936), p. 107.
-

TABLE DES MATIÈRES

PARAGRAPHES	Pages
1, 2. Introduction	1
3. Sommaire	2
4. L'Observatoire du Pic du Midi.	3
5. Les conditions météorologiques	4
6. Evolution des tourmentes de neige	5

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Préliminaires.

7, 8, 9. Aperçu des travaux effectués sur le radon . . .	7
--	---

CHAPITRE II

Considérations générales.

10, 11. Précautions à prendre pour les mesures de faibles ionisations, correction des fuites	11
12, 13, 14, 15. Calcul du potentiel de correction ; sources de courant ; utilisation de sel radioactif étalon . . .	13

CHAPITRE III

Mesure de l'ionisation en vase clos.

16. Méthode de mesures	17
17. Détails de l'appareil	17
18. Méthode de vitesse de déviation	19
19. Méthode de compensation	19
20. Mesure de la capacité	20
21. Etalonnage de la capacité auxiliaire	21
22. Capacité de l'appareil	22
23. Nombre d'ions	23
24. Résultats obtenus	24
25. Interprétation des résultats	25

CHAPITRE IV

Activation des fils.

	Pages
26. Résultats	26
27. Interprétation	27
28. Remarque : doutes sur l'origine du radon	28

CHAPITRE V

Dispositif d'enregistrement de la teneur en radon.

29. Principe	29
30. Interprétation (théorique)	30
31. Cas particuliers (interprétation théorique, suite)	32
32. Cas général (interprétation théorique, suite)	32
33. Remarques : a) sur l'étalonnage; b) sur la validité des calculs précédents.	33
34. Réalisation : filtrage et admission d'air	34
35. Réalisation : enregistrement	35
36. Etalonnage en curie	36
37. Etalonnage en ions	36
38. Remarques ; I. Correspondance des sensibilités	37
II. Tension de saturation	40
III. Ecart entre les résultats et les nombres théoriques (formule de Duane-Laborde).	40

CHAPITRE VI

*Résultats d'enregistrement de la teneur en radon :
air prélevé sous la couche de neige.*

39. Remarques générales	42
40. Interprétation d'une série de courbes	43

CHAPITRE VII

*Résultats d'enregistrement de la teneur en radon :
air prélevé dans l'atmosphère libre.*

41. Remarques générales	46
42. Interprétation	46
43. Remarque	47

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE VIII

Généralités

	Pages
44. Résultats précédents, nécessité de mesures extérieures	48
45. Conditions et principe des mesures	48
46. Procédés de prélèvement	50
47. Procédés d'étalonnage	52
48. Correction des mesures	54
49. Etalonnage par la méthode des barboteurs	55

CHAPITRE IX

*Appareils portatifs pour la mesure
des faibles teneurs en radon.*

50. Appareil à feuille d'or	59
51. Montage de la feuille d'or	60
52. Appareil à balance de Coulomb	62
53. Même appareil : montage de l'aiguille	63
54. Réglages	66
55. Comparaison de l'appareil enregistreur et des deux appareils portatifs.	67

CHAPITRE X

Mesures avec les appareils portatifs.

56. Activité de l'air libre	70
57. Activité de l'air sous la neige	70
58. Mesures dans le massif du Canigou	72
59. Interprétation.	73
60. Remarques sur la nécessité de mesures plus étendues, façon d'opérer	75

CONCLUSIONS

I. Conséquences des résultats obtenus	77
II. Rapprochement des résultats obtenus antérieurement sur le radon	77
III. Le phénomène trouvé au Pic semble devoir être très général	78
BIBLIOGRAPHIE	79

Photographies de l'auteur.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

La lumière du ciel nocturne.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 16 Mars 1936.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
CH. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,
S. CHARLÉTY.

